



Dynamique des épidémies de choléra dans la région des grands lacs africains: cas de la République Démocratique du Congo

Didier Bompangue

► To cite this version:

Didier Bompangue. Dynamique des épidémies de choléra dans la région des grands lacs africains: cas de la République Démocratique du Congo. Ecologie, Environnement. Université de Franche-Comté, 2009. Français. NNT: . tel-00441534

HAL Id: tel-00441534

<https://theses.hal.science/tel-00441534>

Submitted on 16 Dec 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE
ECOLE DOCTORALE HOMME-ENVIRONNEMENT-SANTE

Année 2009

Thèse n 25-09-09

THESE

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

Option : SCIENCES DE LA VIE ET DE LA SANTE

Présentée et soutenue publiquement

Le 23 octobre 2009

Par **Didier BOMPANGUE NKOKO**

**DYNAMIQUE DES EPIDEMIES DE CHOLERA
DANS LA REGION DES GRANDS LACS AFRICAINS
CAS DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO**

Membres du Jury

Monsieur le Professeur Patrick GIRAUDOUX, Président

Monsieur le Professeur Jean DELMONT, Rapporteur

Monsieur le Professeur François PEYRON, Rapporteur

Monsieur le Professeur Jean Jacques MUYEMBE, Co-directeur de thèse

Monsieur le Professeur Renaud PIARROUX, Directeur de thèse



UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE
ECOLE DOCTORALE HOMME- ENVIRONNEMENT- SANTE

Année 2009

Thèse n xxx

THESE

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

Mention :

Option : SCIENCES DE LA VIE ET DE LA SANTE

Présentée et soutenue publiquement

Le 23 octobre 2009

Par **Didier BOMPANGUE NKOKO**

DYNAMIQUE DES EPIDEMIES DE CHOLERA
DANS LA REGION DES GRANDS LACS AFRICAINS
CAS DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

Membres du Jury

Monsieur le Professeur Patrick GIRAUDOUX, Président
Monsieur le Professeur Jean DELMONT, Rapporteur
Monsieur le Professeur François PEYRON, Rapporteur
Monsieur le Professeur Jean Jacques MUYEMBE, Co-directeur de thèse
Monsieur le Professeur Renaud PIARROUX, Directeur de thèse

Remerciements/ Dédicaces

«Rien ne rime, mais tout dépend de l'esprit dans lequel on l'accomplit»

Camara Laye, L'Enfant noir

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont entouré et soutenu pendant ces années de thèse.

Mes premiers remerciements iront à l'Unité Mixte de Recherche Chrono-Environnement du CNRS pour m'avoir accueilli en son sein, me permettant ainsi de réaliser ce travail de recherche.

Cette thèse s'est déroulée dans des conditions assez atypiques ; c'est ainsi que je veux remercier :

- le Professeur Jacques MUDRY et tous les responsables de l'Ecole doctorale « Homme Environnement Santé » :

- le Professeur Hervé RICHARD, et les Professeurs Jean-François VIEL, Patrick GIRAUDOUX, Renaud PIARROUX, respectivement Directeur et responsables au sein de l'UMR Chrono-Environnement :

- les responsables de l'Université de Franche-Comté ;

- les responsables de la Région de Franche-Comté, avec une pensée particulière à son regretté Président Monsieur Raymond FORNY ;

- M. Jean-Marie BART, de la Région de Franche-Comté,

Tous pour avoir de diverses manières contribué à rendre possible la réalisation de ce travail. Merci infiniment.

Mes remerciements les plus vifs vont aussi

– A Messieurs les Professeurs Jean DELMONT, et François PEYRON, pour avoir bien voulu juger ce travail ;

– A l'Association A'Doc des doctorants de l'Université de Franche-Comté, pour l'organisation du prix A'Doc et l'aide aux doctorants, surtout étrangers ;

– Aux collègues doctorants Africains avec qui nous avons pu partager des heures de discussion : ce fut pour moi un réel plaisir que de pouvoir rencontrer des gens si « enflammés d'humanisme ». Si ça ne se passait qu'avec vous, j'aurais presque envie de rêver... ;

– A mes collègues de Besançon avec une pensée particulière pour :

- Anne-Cécile NORMAND, qui a été pour nous un grand soutien durant ces années difficiles. Nos remerciements aussi à ses parents pour leur attention et leur sollicitude à qui je dis : « Vous êtes les bienvenus au Congo » ;

- **Bertrand SUDRE et Odile**, pour leur amitié, leur assistance et leur disponibilité : nous avons hâte de vous faire visiter les 2 345 000 km² de notre indivisible pays continent ;

- **Mallory VACHEYROU et Benoît, Patricia**, pour leur soutien en temps difficile ;

- **Hamidou KANE**, qui n'a malheureusement pas pu conduire jusqu'au bout son projet de thèse, à cause de diverses contraintes environnementales.

- *l'équipe de l'UMR Chrono-Environnement de la place Leclerc*, pour l'accueil, les quelques poses café, les salutations et les sourires sincères chaque fois que je passais chez eux pour travailler avec Patrick. Il y a tellement de « *sourires de commerce* » autour de nous que, quand ça vient du cœur, cela produit un vrai effet thérapeutique ;

– **Aux collègues de la 61^{ème} Session de l'IHEDN et particulièrement du Comité 2**, pour leur soutien et leur compréhension durant l'année ;

– **A Mme Fabienne KELLER, Sénatrice du Bas-Rhin**, pour avoir accepté de relire et de faire relire tout ce travail de thèse, pour le grand travail de secrétariat réalisé après les relectures et surtout pour son attention durant toute l'année « IH ». Un grand merci Fabienne !

– **A M. Christian OUDIN**, du Sénat, pour la relecture et le travail de secrétariat réalisé : un grand merci ;

– **A toutes les personnes, équipes et institutions qui ont d'une manière ou d'une autre contribué à la réalisation de ce travail**. Je pense ainsi :

- **au Ministère de la Santé Publique de la République Démocratique du Congo**. Durant quatre ans, l'ensemble du dispositif du Ministère de la Santé Publique de la RDC a été disponible et a contribué à la réalisation de cette thèse en fournissant les données épidémiologiques. Sans le soutien, les autorisations et les contributions du Ministère de la Santé de la RDC, cette thèse n'aurait simplement pas pu se faire.

J'aimerais donc dédier cette thèse à tous les acteurs de santé publique de la RDC, depuis le niveau central, jusqu'au niveau des communautés.

Que tous les collègues qui m'ont aidé durant les difficiles missions de terrain, travaillant même les dimanches, voyageant ensemble sur ce que certains qualifient, à juste titre, « *d'engins de la mort* », trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude ;

A tous les amis de la 4^{ème} direction, des 4^{èmes} bureaux et de l'INRB, tous du Ministère de la Santé, pour :

- les données et autres informations qu'ils n'ont cessé de m'envoyer pour réaliser cette thèse ;

- le travail réalisé pour l'élaboration du plan stratégique d'élimination du choléra ; sans leur trame, aucune correction ultérieure n'aurait été possible.

- **la réalisation de l'atelier de juillet 2009 à Lubumbashi** : ensemble, nous avons pu le faire, ensemble nous pourrions faire encore plus que ça, jusqu'à l'élimination du choléra

en RDC. Tant qu'on ne vous empêche pas de respirer, vous avez le droit d'avoir des rêves, tant que vos rêves sont pour le bien collectif, ayez confiance en votre capacité d'y parvenir malgré l'adversité ! A chaque circonstance, que l'adversité soit une source d'énergie positive pour poursuivre vos rêves. Vous avez le droit de rêver ; vous avez aussi le droit de vous tromper ; mais vous n'avez pas le droit d'abandonner !

J'aimerais encore **dédier cette thèse à tous ceux qui m'ont aidé à poser les bases sur lesquelles tout cet édifice a été construit.** Je veux ainsi penser :

- **au Dr Xavier de RADIGUES** à qui je dis: *« Cher Xavier, ce qu'il faut, c'est tout un roman pour raconter l'histoire de notre amitié et tout ce que tu as fait pour moi. Je suis certain que ce roman pourrait aider à réduire dans le néant les tensions inutiles qui existent parfois entre la Belgique et le Congo. Je suis très ému en rédigeant ces lignes.... Comment parler de toi, de notre amitié en quelques lignes ? J'espère terminer un jour la rédaction de l'histoire de ma vie ; l'histoire de notre amitié sera un roman dans le roman. Pour l'instant, j'aimerais simplement te dire merci à Cécile et à toi, prenez soins d'Amauri... »* ;

- **au Dr Sirenda VONG** : *« Au bord du lac Mai Ndombe, sous les manguiers et les eucalyptus, quand tu m'avais proposé de commencer à traquer les épidémies, j'étais loin de m'imaginer que c'était le début d'une longue aventure. Aujourd'hui, je ne regrette pas mon bistouri et je te dis merci ! »*

- **Au Dr Valentin MUKINDA** : *« Comme « instructeur » pour les conduites de mission sur le terrain, je te remercie pour cette formation ; »*

- **Au Dr Vital MONDONGE** : *« Pour avoir réussi à me motiver et résister durant 365 jours, sans aucun salaire, ni prime quelconque. Sans tes conseils et ton aide avec les sites sentinelles, je serais reparti reprendre mon bistouri » ;*

- **Au Dr Florent EKWANZALA** : Pour avoir été l'un des rares, sinon le seul en ce temps là, à m'encourager dans la voie d'une thèse d'université, alors que plusieurs avis négatifs m'avaient dissuader à suivre cette voie. Un grand merci pour cela et entre temps, j'ai compris que « les oreilles ne dépasseront jamais la tête ».

- **A tous ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans cette aventure : Dr Benoît KEBELA ILUNGA, Dr Jean Norbert MPUTU LUENGU, Dr Georges BAKASWA, Dr Jacques WANGATA, Dr Pierre LOKADI, Mme Anne KINI ;**

- **Au Dr MAKWENGE KAPUT**, qui a été parmi les premiers responsables en RDC à comprendre la pertinence d'un plan d'élimination du choléra et surtout à l'avoir officialisé ; Mes meilleurs souhaits pour le reste de votre carrière. Le pays a besoin de responsables visionnaires comme vous.

- **Aux collègues du Musée Royal d'Afrique Centrale de Tervuren**, et plus particulièrement au **Dr Pierre-Denis PLISNIER**, pour m'avoir ouvert les portes de leur laboratoire alors que je cherchais désespérément des collaborations pour avancer dans l'approche multidisciplinaire de la compréhension du choléra en zone lacustre ;

- **Aux ONG humanitaires internationales suivantes :**

- **Epicentre**, pour les années de travail en RDC entre 2000 et 2003 : Merci pour avoir contribué à la mise en place et à la consolidation du système de surveillance épidémiologique en RDC. En toute sincérité, je regrette toujours la fermeture de Epicentre en RDC en 2003. Cette expérience restera pour moi le parfait modèle d'un projet de surveillance réussi. Cette thèse est à mettre à l'actif des bénéfices diffus de ce projet Epicentre en RDC. ;

- **Médecins Sans Frontières France et Belgique** ; tout petit, j'ai été dégoûté par l'injustice. Travailler avec MSF était pour moi une façon de lutter contre ces injustices qui minent notre société. Physiquement, j'ai été obligé de partir, mais vous savez que, tant que la lutte contre les injustices sera la philosophie de la maison, je resterai MSF. Car MSF, pour moi c'est un état d'esprit.

Pour les temps merveilleux passés sur le terrain avec : **Francisco DIAZ, Emmanuel TRONC, Coralie LEHELLE, Naouffell DRIDI, Gueza HARCI, Xavier de RADIGUES, Sirenda VONG**, à qui je dis : *« vous m'avez fait aimer d'avantage l'humanitaire. Si le monde ne pouvait être peuplé que de gens comme vous ! »* ;

- **Aux « noyaux durs » de l'équipe du personnel de l'hôpital Général de Référence de Inongo (à 680 km au nord de Kinshasa, RDC), aux amis de la cellule choléra RDC (Annie, Berthe, Aaron, Gisèle, Tampon, Armand, Mana, Saleh, Dr ADALBERT, Dr VITAL)** : pour leur soutien sans faille ;

- **A toutes les ONG humanitaires qui contribuent à la réduction du nombre de morts dus aux épidémies de choléra en Afrique** : *« Que le paradigme développé dans cette thèse sur la possibilité d'éliminer le choléra en Afrique vous inspire. Vous n'avez pas les moyens financiers de mettre en oeuvre un tel programme, mais vous avez des moyens pour faire entendre à ceux qui peuvent le financer que ce but est possible. J'espère vivre assez longtemps pour voir le jour où le choléra ne sera plus un problème de santé publique majeur en Afrique »* ;

- **Aux Bureaux RDC de l'OMS et de l'UNICEF**, pour le soutien à la lutte contre le choléra en RDC et donc indirectement à la réalisation de cette thèse à travers les données épidémiologiques et de gestion des épidémies ;

- **Au Dr Claire-Lise CHAIGNAT et au bureau du Task Force choléra de l'OMS à Genève**, pour leur soutien aux idées développées dans cette thèse. Merci pour ces réunions qui m'ont permis de rencontrer ces monuments vivants de la recherche sur le choléra que sont **Kassim SIDDIQUE et Eric MINT** ;

- **Au Dr Thierry VANDEVELDE, Délégué Général de la Fondation VEOLIA ENVIRONNEMENT**, pour avoir osé nous faire confiance quand personne ne savait encore ce sur quoi nous travaillions.;

- **A Pierre-Yves OGER, Franck HAASER et tous ceux de la Fondations Veolia Environnement** qui participent depuis 2008 à la mise en oeuvre du plan stratégique d'élimination du choléra en RDC. Je ne douterai jamais de la sincérité de votre engagement ;

- **A la Fondation Leon MBA et à l'Institut de Médecine et d'Epidémiologie Appliqué**, pour avoir contribué au financement de ce travail de recherche,

- Aux encadrants de la thèse :

• **le Professeur Renaud PIARROUX**, pour l'encadrement scientifique et les contributions financières à la réalisation de cette thèse : Au delà de la thèse, c'est notre vision et notre volonté communes de voir gérer différemment les épidémies, en général, et le choléra, en particulier ; l'idée de la mise en place de projet renforçant les structures nationales qui nous ont unis dès notre première rencontre et nos conversations en 2003 en RDC. **Mon souhait est que cette thèse ne soit que le commencement d'une longue et magnifique aventure scientifique avec beaucoup d'applications opérationnelles.**

Personnellement, je ne doute pas qu'il y aura beaucoup de difficultés dans la mise en oeuvre. On aura le droit de tout, sauf de s'arrêter en cours de route. Mais s'il faut que ça s'arrête, je prie Dieu que ce ne soit pas moi qui prononce la décision d'arrêt. Je ne cache jamais mon mécontentement, mais je ne renie jamais mes engagements.

Je lui dis : *« Durant 4 ans, tu as été pour moi, un maître, un collègue, un père et un ami. Je suis peut être comme un cheval difficile à dresser (mon père naturel confirmerait cela), mais je reste toujours loyal et plein d'admiration pour des gens qui m'ont fait confiance quand personne ne pouvait oser investir le moindre centime sur moi. Tu t'es beaucoup investi et tu as aussi beaucoup investi dans la réalisation de ce travail, je te remercie infiniment et je prie Dieu qu'Il m'accorde de ne jamais te décevoir. »*

• **le Professeur Patrick GIRAUDOUX**, pour sa disponibilité dans l'encadrement du travail.

Les concepts d'éco-épidémiologie, qu'il manipule avec une aisance forçant l'admiration, ont révolutionné ma perception des maladies infectieuses. Cette nouvelle vision m'a poussé à croire à la possibilité des nouvelles perspectives dans l'avenir de la lutte contre les maladies infectieuses à potentiel épidémique en Afrique. D'où l'idée de ce projet entre l'Université de Kinshasa et l'Université de Franche-Comté. J'espère que nous pourrons le réaliser ensemble ;

• **le Dr Pascal HANDSCHUMACHER**, pour l'encadrement durant l'année de master et les concepts de géographie de la santé. En espérant travailler à nouveau avec lui ;

• **le Professeur Jean Jacques MUYEMBE TAMFUM**, pour avoir bien voulu co-diriger et donc parrainer en RDC ce travail de thèse malgré ses multiples responsabilités à l'INRB et à l'Université de Kinshasa. Nous espérons pouvoir être à la hauteur de la confiance qu'il nous a exprimée en nous acceptant dans ses équipes de recherche au sein de l'Université de Kinshasa.

Enfin, dans la rubrique des membres de famille, j'aimerais remercier tout particulièrement :

- **toute la famille chrétienne** : les pasteurs (Jean BOFOLA à Kinshasa, Barthélemy KAMBALE à Bruxelles, Billy MBO et Marc MPUTUNGOLO à Inongo), les frères et sœurs de partout, qui n'ont pas manqué de penser à nous dans leurs prières pendant que nous traversons ces temps difficiles ;

- **la famille PIARROUX : Martine, Renaud, Raphaël, Julie, Loïc**. Que dire ? Je ne sais même pas par où commencer. Tellement de choses, tellement d'émotions. *« Vous êtes*

devenu pour nous ce que nous appelons au sens Africains du terme « la famille ». On peut se séparer des amis, mais jamais de la famille, car les liens de famille sont des liens sacrés » ;

En effet, tout ce que vous avez fait pour nous depuis octobre 2004, nous a introduits dans une alliance sacrée et, comme on le dit chez nous, dans ce type d'alliance : *« malheur à celui qui brisera ce pacte ou à ceux qui voudront œuvrer pour le briser, ils rencontreront les ancêtres sur la route du champs »*. J'espère que ceux qui, dans cette grande famille, ont choisi le chemin des livres, nous aideront un jour à peaufiner les manuscrits sur l'histoire de l'amitié entre nos familles, car c'est tout un roman ;

Merci à Martine pour ton grand cœur de mère : les mots me manquent pour t'exprimer toute la gratitude. A Raphaël, Julie et Loïc, merci de m'avoir accepté parmi vous à Mallarmé. J'espère vous faire découvrir un jour l'autre face de l'Afrique, j'allais dire la vraie Afrique, mon Afrique, celle pour la quelle votre cher Papa prends tant de risque depuis tant d'années.

- **la famille GIRAUDOUX**, Véronique, Dorine, Adrien : dans cette Franche-Comté verte et froide, vous avez su nous apporter chaque fois qu'on en avait besoin de la chaleur. Merci infiniment ! ;

- **la famille SUDRE** : c'est dans les temps difficiles qu'on reconnaît des amis. Vous nous avez fait découvrir une autre France, celle qui a du cœur ;

- **Mme Brigitte QUICHON, présidente de l'Association régionale de l'IHEDN de Franche-Comté** : Chère Brigitte, depuis que nous t'avons connue, tu es devenue pour nous un oasis de réconfort. Nous te consacrons ce travail comme un gage de notre amitié ;

- **mon père** : Tu m'as fait comprendre ce que voulait dire le mot « Honneur ». *« Nous avons consenti pour toi des sacrifices, il ne faut point qu'ils demeurent sans résultats, saisis ta chance et fais-moi honneur ! Je ne te demande rien de plus »* ;

Merci pour les sacrifices consentis pour notre éducation.

- **ma mère** : Pour tout ton amour et surtout pour ta compréhension et ta patience ;

A travers toi, j'aimerais penser et dédier cette thèse à toutes ces femmes et toutes ces jeunes filles de l'Est de la RDC, victimes innocentes de l'injustice de ceux qui n'ont de cœur que pour leur profit. Durant mes missions à travers les savanes, les lacs et les collines de l'est de la RDC, vos gémissements n'ont pas arrêté de déchirer mon cœur. J'entends encore, comme un écho, vos lamentations monter des sentiers minés d'où des méchants *loups des tropiques* vous attendent pour le supplice quotidien. **Jusqu'à quand ceux qui peuvent vous rendre justice feront-il semblant de ne pas entendre vos cris ? Et pourtant, malgré toute cette barbarie, votre sourire demeure radieux, vous êtes la force de l'Afrique ;**

- **mes frères et sœurs**, pour leur soutien et leurs prières ;

- **mes enfants, Sharon, William et Joseph** : pour avoir accepté de vivre sans moi durant ces années difficile. Des larmes coulent continuellement dans mon cœur, car j'ai l'impression de les avoir privés de plusieurs années de vie familiale. Pas de vacances ensemble, parfois, même pas de repas ensemble ; maman a été durant toutes ces années à la fois Papa et Maman : Je vous demande pardon pour tant de sacrifices. J'espère qu'un

jour, vous pourrez profiter des fruits de ces renoncements que vous avez bien voulu consentir. Que Dieu vous bénisse pour votre sens du sacrifice !

En pensant à vous, **je n'oublie pas tous ces enfants de l'est de la RDC victimes dans la plus grande indifférence des pires atrocités dont seul le genre humain est encore capable aujourd'hui.** Le seul pêché de ces enfants, c'est d'être nés dans une région où les latrines se creusent dans un sol riche en coltan, en or, en diamant, en cuivre, en germanium ...

Justice s'il vous plait !

- **mon épouse** : En principe, c'était à toi de me dédicacer ce travail, car pour moi, tu en es le vrai auteur. Car, sans toi, cette aventure n'aurait pas été possible et sans toi, elle s'arrêterait là.

Que tout ceux qui en tirent déjà les bénéfices et ceux qui en bénéficieront plus tard, sachent que c'est à toi qu'il faudra dire un grand merci. Veiller aux enfants et à la famille, seule durant cinq ans, seule dans les consultations à l'hôpital, seule à te faufiler entre les chars et autres engins de guerre pour essayer d'aller récupérer les enfants à l'école, ... Cette thèse aurait-elle continué si une catastrophe était survenue ce jour là ? Merci chérie pour tous ces sacrifices : que Dieu te bénisse !

Au travers de tes sacrifices, j'aimerais aussi dédicacer ce travail à toutes ces courageuses épouses de chercheurs d'Afrique, séparées de leurs conjoints pour des raisons administratives.

Publications sur le sujet

Bompangue D, Giraudoux P, Piarroux M, Mutombo G, Shamavu R, Sudre B, Mutombo A, Mondonge V, Piarroux R., Cholera Epidemics, War and Disasters around Goma and Lake Kivu: An Eight-Year Survey., PLoS Negl Trop Dis. 2009;3(5):e436.

Bompangue D, Giraudoux P, Handschumacher P, Piarroux M, Sudre B, Ekwanzala M, Kebela I, Piarroux R., Lakes as source of cholera outbreaks, Democratic Republic of Congo., Emerg Infect Dis. 2008 May;14(5):798-800.

R. Piarroux, **D. Bompangue**, P.-Y. Oger, F. Haaser, A. Boinet, and T. Vandeveldé., From research to field action: example of the fight against cholera in the Democratic Republic of Congo., Field Actions Sci. Rep., 2009; 2, 69–77,

Piarroux, Renaud and **Bompangue, Didier**, "Needs for an integrative approach of epidemics: The Example of Cholera in Encyclopedia of infectious diseases : Modern methodologies" ; Wiley & Sons, Eds ; New-York, 2007; p 639-653.

Résumé

Le choléra est une maladie diarrhéique contagieuse strictement humaine, causée par *Vibrio cholerae*, un bacille gram négatif. La maladie se traduit par une diarrhée acqueuse profuse parfois accompagnée de vomissements survenant quelques heures à quelques jours après l'ingestion d'eau ou d'aliments souillés par *V. cholerae*.

Dans l'environnement, *V. cholerae* est retrouvé dans les eaux saumâtres des zones d'estuaire où il colonise la surface de certaines algues et de copépodes, pouvant ainsi persister en l'absence de l'homme pendant des périodes de temps prolongées. C'est le cas dans les zones estuariennes d'Asie du Sud-Est telle que la région du golfe du Bengale, où la maladie est connue depuis la plus haute antiquité.

Après avoir été relativement épargnée par les six premières pandémies, l'Afrique continentale a été frappée par la 7^{ème} pandémie en 1970. Depuis cette date, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), plus de 90 % des cas de choléra sont rapportés par l'Afrique sub-saharienne. La République Démocratique du Congo (RDC) fait partie des pays les plus touchés.

En RDC, de 2000 à 2008, 208 875 cas et 7 335 décès (létalité de 3,51%) dus au choléra ont été notifiés à l'OMS, soit 15 % des cas et 20 % des décès rapportés dans le monde pour la même période. **Ces cas de choléra touchent essentiellement les provinces de l'est de la RDC, situées dans la région des grands lacs.** Après plus de trente ans de lutte contre le choléra en RDC, une étude épidémiologique de la dynamique du choléra a été initiée dans ce pays dans le but de comprendre les facteurs de récurrence épidémique et de proposer des ajustements sur les approches opérationnelles. Les principaux résultats de ce travail de recherche ont permis de mettre en évidence qu'à peine 10 % des zones de santé, toutes situées à proximité des lacs de l'est de la RDC, jouent le rôle de zones sanctuaires pour le choléra

Ces résultats ont également permis de mettre en évidence la saisonnalité du choléra, avec moins de cas en saison sèche, et le rôle spécifique des populations de pêcheurs, de commerçants et de mineurs artisanaux dans l'émergence et la diffusion des épidémies de choléra. Il a également été démontré que le choléra n'est pas endémique dans toutes les régions de l'est de la RDC. **Le fonctionnement du choléra dans cette région d'Afrique est globalement instable avec des flambées épidémiques suivies de phases d'extinction relativement prolongées, les flambées épidémiques se produisant selon un mode métastable lorsqu'on considère l'Est de la RDC dans son ensemble.** Cependant, il a aussi été montré que certains foyers fonctionnant jusque-là sur un mode métastable sont, depuis quelques années, passés à un fonctionnement endémique. C'est le cas des foyers de Kalemie et de Goma.

Sur la base de ces résultats, il a été recommandé la mise en place d'un projet de lutte contre le choléra avec pour objectif d'éliminer cette maladie de l'ensemble de la RDC. Ce plan vise à concentrer les efforts de lutte sur les sept foyers sanctuaires identifiés en privilégiant les apports en eau potable parmi l'éventail des moyens de lutte existant. Lorsque les premières actions ont été mises en oeuvre sur le site pilote de Kalemie, nous avons constaté une diminution importante de l'incidence du choléra, tandis que les examens microbiologiques ont confirmé que les quelques cas de diarrhée encore rapportés à Kalemie n'étaient plus dus à *V. cholerae* mais à d'autres bactéries.

L'épidémiologie du choléra telle que nous l'observons dans la région des Grands Lacs africains est différente de celle décrite en zone estuarienne d'Asie du Sud-Est.

Même si plusieurs questionnements subsistent concernant les modes de persistance du choléra dans les zones lacustres ou la pérennité du *V. cholerae* dans les eaux des lacs, les résultats de ce travail sont porteurs d'un nouvel espoir pour la relance de la lutte contre cette maladie négligée.

Mots clés : choléra, lacs, sanctuaires, RDC, Grands Lacs, épidémies, élimination, séries temporelles,

Abstract

Cholera is a contagious diarrhoeal disease affecting only human, caused by *Vibrio cholerae*, a gram-negative bacillus. The disease results in profuse watery diarrhoea sometimes accompanied by vomiting, occurring after a few hours or a few days after the ingestion of food or water soiled by *V. cholerae*.

In the environment, *Vibrio cholerae* is found in brackish water of estuarine zones where it colonizes the surface of algae and copepods, persisting in the absence of men for prolonged periods of time. So is the situation in the estuarine zones of South-East Asia such as the Bay of Bengal where the disease is known since the highest antiquity.

After having been relatively spared by the first six pandemics, continental Africa was stroke in 1970 by the spread of the 7th pandemic of cholera. Since this date, according to the World Health Organization (WHO), more than 90 % of the cases of cholera were reported by Sub-Saharan African countries. Among them, the Democratic Republic of Congo (DRC) is one of the most affected countries.

In DRC, from 2000 to 2008, 208,875 cases and 7,335 deaths (case fatality rate: 3.51 %) of cholera were reported to WHO, that is to say about 15 % of the cases and 20 % of the deaths observed worldwide during the same period. **These cholera cases were mostly notified in the provinces of the East of the DRC, next to the African Great Lakes area.** After more than 30 years of fight against cholera in DRC, an epidemiological study of the dynamics of cholera was set up in this country in order to better understand the epidemic factors of recurrence and to perform adjustments for the operational approaches.

The main results of this research work have highlighted that less than 10 % of the health zones, all bordering lakes located in the East of the DRC, play the role of sanctuary zones for cholera. These results have also highlighted the seasonal variations of cholera, with fewer cases during the dry season, and the specific role of the fishermen populations, tradesmen and traditional minors in the restarts and diffusion of cholera epidemics. It was also shown that the cholera is not endemic all over of the East of the DRC. **Overall, functioning of cholera in this area of Africa is mostly unstable, with epidemic flare-ups followed by relatively prolonged phases of extinction; this behaviour of cholera and its epidemic flare-ups is therefore characterized by a metastable state.** However, it was also shown that some areas, namely Kalemie and Goma areas, functioning until there on a metastable mode have now changed for some years for an endemic mode.

On the basis of these results, the implementation of a project of fight against cholera was recommended which aims to eliminate this disease from the whole DRC. This plan will concentrate the fight on the seven identified sanctuaries zones, giving priority to drinking water supply among the ranges of existing means of fight. The first actions implemented on the pilot site of Kalemie have yet modified the dynamics of cholera in this area. Indeed during the phase of intensification of the water supply activities in Kalemie the number of suspected cholera cases dramatically decreased while microbiological tests showed that the few remaining diarrhoeas cases were due to bacteria other than *Vibrio cholerae*.

The epidemiology of cholera, as we observed it in the African Great Lakes area is different from the one described in South-East Asia estuarine zone. Even if several questions remain unsolved, such as the role of the lakes as a reservoir of *V. cholera* strains,

the results of this work open a new hope on the revival of the fight against this neglected disease.

Keywords: cholera, lakes, sanctuaries, DRC, Great Lakes, epidemics, elimination, time series.

Liste des abréviations et acronymes

°C :	degré Celsius
µg/l:	microgramme par litre
µs/cm:	micro siemens par centimètre
ACP:	Analyse en Composante Principale
AFDL:	Alliance des Forces Démocratiques pour la Libération
APD :	Avant Projet Détaillé
CCTP:	Cahier de Clauses Techniques Particulières
ACF:	Action Contre la Faim
AR:	Auto Régressives (méthodes)
ARMA:	Autoregression and Moving Average
ARIMA :	Autoregressive Integrated Moving Average Model
MA:	Mobile Average (méthode de Moyenne Mobile)
BCZS :	Bureau Central de la Zone de Santé
BDOM :	Bureau Diocésain des Œuvres Médicales
CDC:	Center of Diseases control
CELCHOL:	Cellule choléra
CICR:	Comité International de la Croix Rouge
CNRS:	Centre National de Recherche Scientifique
CNSE:	Cellule Nationale de Surveillance Epidémiologique
CRL:	Chlore Résiduel Libre
CRS:	Catholic Relief Service
CTC:	Centre de Traitement du choléra
CTX Ø:	Cholera Toxin X Ø
DLM:	Direction de la Lutte contre la Maladie
DS:	District Sanitaire
ECHO:	Office d'aide humanitaire de la Commission européenne
EPICENTRE	Centre de recherche et d'épidémiologie de terrain, crée par Médecins Sans Frontières
FAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FDLR:	Front Démocratique pour la Libération du Rwanda
GLM:	Generalized Linear Models
H2 N2:	Hémagglutinine de type 2, Neuraminidase de type 2.
IMEA:	Institut de Médecine et d'Epidémiologie Appliquée

INRB:	Institut National de Recherche Bio-médicale
IPS:	Inspection Provinciale de la Santé
IRC:	International Rescue Committee
LRA:	Lord R Armay
m:	mètre
MDMF:	Médecins Du Monde France
Mg/l:	milligramme par litre
MICS II :	Multiple indicator cluster surveys II
mm :	millimètre
MSF :	Médecins Sans Frontières
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
ONG:	Organisation Non Gouvernementale
PAM:	Programme Alimentaire Mondial
PEV :	Programme Elargi de Vaccination
PNB :	Produit National Brut
PUC :	Pool d'Urgence Congo
PCIME :	Prise en Charge Intégrée des Maladies de l'Enfance
RDC :	République Démocratique du Congo
REGIDESO :	Compagnie nationale des eaux (RDC)
<i>tcpA</i>, :	toxin-coregulated pilus A
UE:	Union Européenne
UNICEF:	United Nations Children's Emergency Fund
USA:	United States of America
USAID:	United States Agency International Development
UTC:	Unité de Traitement du Choléra
VC:	<i>Vibrio cholerae</i>
VPI Ø:	<i>V. cholerae</i> pathogenicity island Ø receptor
ZS:	zone de santé

Table des matières

Table des matières

Publications sur le sujet	13
Résumé	15
Abstract	17
Liste des abréviations et acronymes	19
Table des matières	21
Introduction	27
Position du problème	29
Plan de la thèse	32
Avant Propos	34
GENERALITES	38
I. Le <i>Vibrio cholerae</i>	40
<i>Vibrio cholerae</i> et son environnement naturel	41
Les phages VPIΦ, CTXΦ et les souches pathogènes de <i>V. cholerae</i>	43
Conséquences chez l'homme : le choléra maladie	45
Impact des épidémies de choléra dans les sociétés humaines	47
La septième pandémie et le choléra en Afrique	54
II. Le choléra en RDC	58
A La République du Congo : contexte et présentation générale	58
Bref aperçu du contexte général	58
Aperçu géographique et démographique	60
Le réseau hydrographique en RDC	61
Aperçu climatique	63
Eau et assainissement	67
Situation socio-économique et culturelle	67
B. Situation sanitaire de la RDC	70
La lutte contre la maladie en RDC	71
Le fonctionnement du système de surveillance épidémiologique	72
Le cadre national (formel) d'exécution des activités de surveillance épidémiologique	74
C. La problématique de la gestion des épidémies de choléra en RDC jusqu'en 2005	77
La détection des cas de choléra est basée sur la définition clinique de l'OMS	80
Synthèse des faiblesses dans la gestion du choléra en RDC (jusqu'en 2005)	80
HYPOTHESE ET OBJECTIFS DU TRAVAIL	84
MATERIEL ET METHODES	88
I. Types de données et organisation du recueil	90
Les données globales en rapport avec les huit pays de la région des Grands Lacs étudiés	90
Les données en rapport avec la RDC	90
Les données sur les cas et décès de choléra	90
Niveau géographique de recueil et sources de données	92
Les données sur l'historique et le contexte des épidémies	95
La revue documentaire	95
L'interview des personnes rencontrées	95
Les missions de terrain	95
Les informations sur les confirmations biologiques des épidémies de choléra	97
Les données démographiques	97
Les informations sur le contexte général et les conflits dans la région	97
Les données qualitatives sur la situation des populations spécifiques	98

Les données climatiques	98
Les données environnementales caractérisant chacune des zones de santé étudiées	99
Les données sur la présence de plancton au niveau du lac Tanganyika.	99
Les cartes thématiques	99
II.- Approche méthodologique	100
Etude de la distribution spatiale	100
Analyse exploratoire géographique globale	100
Modélisation du nombre de cas de choléra par zone de santé	101
Variables explicatives du nombre de cas par zone de santé	101
Validation de la relation entre le choléra et les variables environnementales.	102
Recherche des zones de rétraction et/ ou de zones sanctuaires du choléra	102
Etude de la dynamique temporelle	103
Analyse de la cinétique de l'épidémie,	103
Etude des facteurs de risque de choléra en zone lacustre, Est RDC	104
Etude des liens entre la pluie et les flambées de choléra à l'Est de la RDC	104
Impact des urgences complexes et des catastrophes naturelles sur la dynamique du choléra	104
Etude des facteurs socio-anthropologiques, impact du cycle et des modes d'activité des populations spécifiques	105
Impact de la variabilité des blooms de plancton sur la dynamique temporelle du choléra	105
Reconstitution et examen des données « planctoniques »	105
La métastabilité et l'endémicité, comme modes de maintien du choléra en zone lacustre	106
III. Déclinaison de ces études en plan opérationnel de santé publique : Le plan de mise en place du projet d'élimination du choléra en RDC	107
Le renforcement et l'ajustement du système de surveillance épidémiologique	107
L'élaboration et la validation du projet de lutte contre le choléra	107
Le plan d'élimination du choléra en RDC, 2008-2012	108
La mise en œuvre du plan stratégique d'élimination du choléra en RDC	110
La mise en œuvre opérationnelle de la première phase du projet d'élimination du choléra	111
Les phases de diagnostic	111
Le diagnostic de la problématique de l'eau à Kalemie.	111
La mise en place d'une stratégie de sensibilisation « ciblée »	113
La surveillance biologique des cas	113
Des actions visant à améliorer les apports en eau potable	113
RESULTATS	115
I. Le choléra dans la région des Grands Lacs	117
Historique du choléra en RDC de 1973 à 2008	122
Identification des déterminants temporels et spatiaux du choléra en RDC de 2000 à 2008	130
Données générales	130
Etude de la répartition spatiale du choléra à l'est de la RDC	132
Recherche des zones sanctuaires du choléra à l'est de la RDC entre 2000 et 2007	141
Evolution temporelle du choléra à l'est de la RDC	141
Etude des facteurs influençant la dynamique du choléra à l'est de la RDC	145
Analyse des réponses opérationnelles apportées au choléra en RDC jusqu'en 2007	164
Synthèse des résultats et bases du plan de lutte opérationnelle	165
II. Application opérationnelle : le plan d'élimination du choléra en RDC et le projet pilote à Kalemie	167
Synthèse du plan de mise en œuvre	167
Le projet pilote de Kalemie	171
Les premières actions mises en œuvre	172
1. Le renforcement et l'amélioration du système de surveillance épidémiologique à Kalemie	172
2. L'amélioration de la prise en charge et du suivi des patients dans le Centre de Traitement du Choléra (CTC) de Kalemie	172
3. Les actions de sensibilisation	172
4. Le projet d'amélioration de l'accès à l'eau potable à Kalemie et d'amélioration du système de surveillance épidémiologique à Kalemie	173
Suivi et évaluation du programme et de l'évolution des cas de choléra à Kalemie en 2008	174
Résultats de la situation épidémiologique de Kalemie en 2009.	179
DISCUSSION	181

Table des figures

FIGURE 1 : PHOTOGRAPHIE ELECTRONIQUE DU <i>VIBRIO CHOLERA</i>E	41
FIGURE 2 : UN COPEPODE, D'APRES LES DR RITA COLWEEL ET ANWARD HUQ	44
FIGURE 3 : LA MORT EGORGEUSE, EPIDEMIE DE CHOLERA A PARIS EN 1832 PAR HEINRICH HEINE	46
FIGURE 4 : EPIDEMIE DE CHOLERA A LONDRES EN 1849	49
FIGURE 5 : EPIDEMIE DE CHOLERA A NEW YORK EN 1832	50
FIGURE 6 : GRAVURE SYMBOLISANT LE CHOLERA ET LES MIASMES	51
FIGURE 7 : LE DOCTEUR JOHN SNOW	52
FIGURE 8 : LES VOIES DE DIFFUSION DE LA PREMIERE PANDEMIE DE CHOLERA A PARTIR DE 1817	53
FIGURE 9 : CHOLERA DANS LES CAMPS DE REFUGIES RWANDAIS A GOMA EN 1994	55
FIGURE 10 : COUVERTURE DU LIVRE LES FANTOMES DU ROI LEOPOLD II	58
FIGURE 11 : CARTE DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO	64
FIGURE 12 : LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO	65
FIGURE 13 : REPARTITION DES ZONES CLIMATIQUES DE LA REPULIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO	66
FIGURE 14 : SCHEMA DU CIRCUIT D'ECHANGE DES INFORMATIONS EPIDEMIOLOGIQUES EN RDC	76
FIGURE 15 : UN CENTRE DE TRAITEMENT DE CHOLERA EN ZONE URBAINE	77
FIGURE 16 : CENTRE DE TRAITEMENT DE CHOLERA EN ZONE RURALE ET LACUSTRE	79
FIGURE 17 : REGISTRES DE CTC	91
FIGURE 18 : SOURCES DES DONNEES EPIDEMIOLOGIQUES, FORMAT PAPIER ET ELECTRONIQUE	92
FIGURE 19 : ENTRETIENS AVEC ACTEURS LOCAUX SUR LE TERRAIN	96
FIGURE 20 : REPARTITION SPATIALE DU CHOLERA DANS HUIT PAYS DE LA REGION DES GRANDS LACS, 1971 A 2007	119
FIGURE 21 : SERIE TEMPORELLE ANNUELLE DES CAS DE CHOLERA DANS HUIT PAYS DE LA REGION DES GRANDS LACS, 1971 A 2007	120
FIGURE 22 : SYNCHRONISATION DE LA DIFFUSION DU CHOLERA DANS LA REGION DES GRANDS LACS	121
FIGURE 23 : POPULATION DE LUBUMBASHI ET PROBLEMATIQUE DE L'EAU DANS LES QUARTIERS POPULAIRES	127
FIGURE 24 : MINEURS ARTISANAUX VICTIMES DE CHOLERA DANS LE VILLAGE- CAMP MINIER DE KISENGO, ZONE DE SANTE DE NYUNZU, KATANGA EN 2007	129
FIGURE 25 : SERIE TEMPORELLE HEBDOMADAIRE DES CAS DE CHOLERA DANS L'EST DE LA RDC DE 2000 A 2008	131
FIGURE 26 : TAUX D'ATTAQUE ANNUEL MOYEN DE CHOLERA (POUR 100 000 HAB.) PAR PROVINCE, RDC DE 2000 A 2008	134
FIGURE 27 : TAUX D'ATTAQUE MOYEN DE CHOLERA PAR ZONE DE SANTE (P100 000 HAB.) KATANGA, SUD-KIVU ET NORD-KIVU, 2002-2007	135
FIGURE 28 A : TAUX D'ATTAQUE MOYEN DE CHOLERA (POUR 10 000 HABITANTS) PAR ZONE DE SANTE	138
FIGURE 29 : DISTRIBUTION SPATIALE DU CHOLERA DANS QUATRE PROVINCES DE L'EST DE LA RDC	140
FIGURE 30 : SERIES TEMPORELLES DE CAS DE CHOLERA DANS LES ZONES LACUSTRES ET NON LACUSTRES, EST RDC, 2000-2007	142
FIGURE 31 : CARTES DES CAS DE CHOLERA CORRESPONDANT AUX PERIODES DE RETRACTIONS EPIDEMIQUES DANS LE BLOC KATANGA-KASAÏ ORIENTAL (A) ET DES DEUX KIVU (B)	144
FIGURE 32 : SERIES TEMPORELLES DE COMPOSANTES SAISONNIERES DES CAS DE CHOLERA RAPPORTES DANS CINQ REGIONS GEOGRAPHIQUES LACUSTRES DE L'EST DE LA RDC	145
FIGURE 33 : RESIDUS EXTRAITS DES SERIES TEMPORELLES DES CAS DE CHOLERA RAPPORTES DANS CINQ REGIONS LACUSTRES DE L'EST DE LA RDC, 2000-2007	147
FIGURE 34 : COURBE GLOBALE DE LA PLUVIOMETRIE EN ZONES LACUSTRES	148
FIGURE 35 : CORRELATIONS CROISEES DES RESIDUS DE VARIATION DE PLUVIOMETRIE ET LA VARIATION DES CAS DE CHOLERA DANS LES 5 REGIONS ETUDIES DE L'EST DE LA RDC	149
FIGURE 36 : CHOLERA DANS LES 5 GROUPES DE ZONES ET PRINCIPAUX EVENEMENTS SURVENUS DANS LES DEUX KIVU	150
FIGURE 37 : PRINCIPAUX MOYENS DE DEPLACEMENT UTILISES PAR LES COMMERÇANTS ET DES PECHEURS EN ZONES LACUSTRES	153

FIGURE 38 : CYCLE D' ACTIVITES ET DYNAMIQUE DES POPULATIONS DE PECHEURS ET DE COMMERÇANTS ENTRE LES ZONES LACUSTRES DE LA REGION DE BUKAMA ET LES CITES URBAINES DU KATANGA, RDC.....	154
FIGURE 39: SERIES TEMPORELLES DE DONNEES DE PLANCTON AU NIVEAU DES SITES LACUSTRES DE KALEMIE ET DE UVIRA	155
FIGURE 40 : CORRELATIONS CROISEES ENTRE RESIDUS DE SERIES DE PLANCTON ET NOMBRE OBSERVES DE CAS DE CHOLERA A UVIRA (HAUT) ET KALEMIE (BAS),	156
FIGURE 41 A : SERIE TEMPORELLE HEBDOMADAIRE DES CAS DE CHOLERA DANS LES 31 ZONES DE SANTE DES PROVINCES DU SUD-KIVU ET DU NORD-KIVU, EST DE LA RDC, 2000-2007.	158
FIGURE 42: SERIE TEMPORELLE HEBDOMADAIRE DES CAS DE CHOLERA DANS LES CINQ REGIONS DE L'EST DE LA RDC, 2000-2007.....	160
FIGURE 43 : INCIDENCE HEBDOMADAIRE DES CAS DE CHOLERA PAR AIRES DE SANTE, KALEMIE, KATANGA, 2008	161
FIGURE 44: SERIE TEMPORELLE DE CAS DE CHOLERA A KALEMIE, KATANGA, SEMAINE 1, 2005 A SEMAINE 22, 2009.....	162
FIGURE 45 : CYCLE DES CHANGEMENTS D'ETAT DU CHOLERA AU NIVEAU ENVIRONNEMENTAL DANS LA REGION DES GRANDS LACS AFRICAINS.....	163
FIGURE 46 : LES SEPT REGIONS SANCTUAIRES DU CHOLERA EN RDC. CIBLES PRIORITAIRES POUR LA MISE EN OEUVRE DU PLAN STRATEGIQUE D'ELIMINATION DU CHOLERA	170
FIGURE 47 : « HYPER BORNES FONTAINES » ET CARTOGRAPHIE DE LEUR DISPOSITION A KALEMIE.	173
FIGURE 48 : UNDUGU	176

Liste des tableaux

TABEAU I : PRINCIPAUX INDICATEURS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA RDC	69
TABEAU II : SYNTHÈSE DES TYPES DE VARIABLES EPIDEMIOLOGIQUES UTILISEES ET SOURCES	94
TABEAU III: TAUX D'ATTAQUE (POUR 100 000 D'HAB.) DE CHOLERA PAR PROVINCE, RDC, 2000 -2008.....	133
TABEAU IV: LETALITE DUE AU CHOLERA PAR PROVINCE, RDC, 2000 -2008.....	133
TABEAU V : ODDS RATIOS ET PARAMETRES DU MODELES DE DISTRIBUTION BINOMIALE NEGATIVE TYPE II DES CAS DE CHOLERA AU KATANGA ET AU KASAÏ ORIENTAL, RDCONGO, 2000-2005.....	137
TABEAU VI : ODDS RATIOS ET PARAMETRES DU MODELE DE DISTRIBUTION BINOMIALE NEGATIVE TYPE II DES CAS DE CHOLERA AU NORD-KIVU ET AU SUD-KIVU, RDCONGO, 2000-2007.....	137
TABEAU VII : CAS ET DECES DE CHOLERA PAR AIRE DE SANTE, KALEMIE, KATANGA, 2008.	178

Introduction

Position du problème

D'après les écrits d'Hippocrate (460 - 377 avant JC) et Galien (129 - 216 après JC), le choléra figure parmi les plus anciennes et les plus dramatiques maladies de l'humanité (1). Pourtant, au vu de la situation actuelle dans le monde, en se référant aux épidémies de Goma en 1994 (2) et à celles plus actuelles du Zimbabwe (3), le choléra reste malheureusement encore d'actualité aujourd'hui et n'a rien perdu de son ampleur d'antan.

Tout au long de l'histoire de l'humanité, six flambées dévastatrices de choléra ont frappé les populations du monde entier. Les foyers originels sont connus depuis l'antiquité dans les plaines du Gange (4). Durant toutes ces pandémies, l'Afrique n'a été que très faiblement touchée à partir des zones côtières déjà en contact, par le commerce essentiellement, avec le reste du monde.

Le choléra a été la première maladie pestilentielle à faire l'objet, dès le XIX^{ème} siècle, d'une surveillance internationale.

Les connaissances modernes sur le choléra ne remontent cependant qu'au début du 19^{ème} siècle, lorsque les chercheurs ont commencé à progresser dans leur compréhension des causes et du traitement de la maladie. L'essentiel de ces recherches sur le choléra sont conduites dans les régions côtières d'Asie du Sud-Est, principalement autour du golfe du Bengale.

En 1961, la septième vague pandémique démarre en Indonésie et gagne rapidement d'autres pays asiatiques, l'Europe, l'Afrique et finalement, en 1991, l'Amérique latine qui n'avait plus eu de choléra depuis plus d'un siècle (4). Elle se propage alors rapidement sur ce continent où elle provoque près de 400 000 cas et 4 000 décès dans 16 pays des Amériques cette année-là.

En 1992, un nouveau séro groupe, dérivant génétiquement du biotype El Tor, apparaît au Bangladesh où il provoque une épidémie étendue. Appelée *V. cholerae* O139 Bengal (5), cette nouvelle souche a été détectée dans 11 pays. Même si les risques de nouvelle pandémie due à cette souche sont pour l'instant exclus, elle mérite cependant d'être étroitement surveillée.

Les données de surveillance épidémiologique rapportées par l'OMS placent actuellement l'Afrique au rang du continent le plus touché par la maladie. A elle seule, l'Afrique concentre plus de 95% des cas et plus de 98% des décès dus au choléra rapportés dans le monde par l'OMS (6, 7). Ainsi, malgré « ses origines » Asiatiques, depuis 1970, avec l'arrivée de la septième pandémie, le choléra est devenu actuellement une maladie africaine.

Dès les premières épidémies de choléra en Afrique, le bilan a été foudroyant avec plusieurs dizaines de milliers de cas et des milliers de décès en quelques mois (7). Dans beaucoup de pays d'Afrique, la gestion des épidémies de choléra est fortement tributaire des aides financières et logistiques des équipes extérieures.

Depuis le début des années 1970, le choléra en Afrique se manifeste dans deux types d'espaces dont les caractéristiques déterminent deux types d'approche opérationnelle. Il y a le choléra dans les camps de réfugiés ou de déplacés internes, puis le choléra en dehors des camps, appelé aussi dans le langage humanitaire le « choléra en milieu ouvert ».

La prise en charge du choléra a été assez codifiée par l'OMS et les Organisations Non Gouvernementales Internationales dont la plus engagée sur le sujet est Médecins Sans Frontière (8). Les guides de prise en charge du choléra élaborés par l'OMS (9) et par MSF (8) sont le reflet de cette maîtrise de la gestion des cas de choléra dans les camps de réfugiés.

A la différence des camps de réfugiés, la gestion du choléra dans les « milieux ouverts » pose encore d'énormes difficultés aux acteurs de terrain. Les équipes de terrain n'ont aucune possibilité d'anticiper les périodes et les lieux des récurrences épidémiques, les facteurs de ces récurrences ne sont pas toujours connus de façon claire et irréfutable. Au niveau de la prise en charge, très souvent, il est fait référence à certains critères d'évaluation qui relèvent en réalité de la gestion du choléra en milieu fermé (camps de réfugiés), comme choisir un taux de létalité inférieur à 1% comme critère de bonne prise en charge curative (8).

De plus, il est sans preuve attribué aux nombreuses zones d'eau douces (lac, fleuves, rivières) se trouvant dans les zones continentales touchées par le choléra, des propriétés de « réservoir pérenne » du choléra. Là encore, c'est un parallèle fait avec les propriétés des zones estuariennes d'Asie du Sud-Est où des recherches ont été conduites qui explique ces affirmations (10-13).

En effet, les résultats des recherches sur l'épidémiologie du choléra en Asie ont permis de mettre en évidence le rôle prépondérant de l'écologie marine (10), des phénomènes climatiques (12) et du comportement des populations dans la dynamique du choléra. Les zones estuariennes d'Asie du Sud-Est sont des réservoirs pérennes du *Vibrio cholerae*. Cette bactérie y vit en étant fixé au zooplancton qui fait partie de l'écosystème de ces régions (10).

Ainsi donc, en Afrique en général et principalement dans les zones continentales où des épidémies se succèdent quasiment chaque année depuis les années 1994 (14, 15), très peu d'éléments de connaissance sur l'épidémiologie du choléra permettent actuellement d'orienter les programmes de lutte.

Depuis 1994, plusieurs programmes nationaux et internationaux se sont mis en place pour renforcer la lutte contre le choléra en Afrique. Les résultats mitigés obtenus sur le terrain ont permis de conforter l'idée selon la quelle l'épidémiologie du choléra en Afrique reste très peu connue et n'est pas superposable à l'épidémiologie du choléra étudiée en Asie du Sud-Est.

Ces dernières années, quelques publications sur le choléra en Afrique ont apporté quelques pistes pour un début de compréhension de l'épidémiologie du choléra dans cette région du monde (14-18). Toutefois, ces publications reprenaient pour la plus part des concepts évoqués en Asie (17, 18) en essayant de les vérifier dans les régions africaines situées sur le littoral (17). D'autres publications sur le choléra en Afrique se

focalisaient sur des flambées épidémiques en recherchant des facteurs de risque de contamination des personnes touchées (16, 19- 21).

Ainsi, très peu d'études se sont focalisées sur une étude globale à plusieurs échelles du choléra et plus spécifiquement dans les zones continentales où l'écologie est totalement différente des zones estuariennes asiatiques.

De plus, en dehors des publications recommandant le recours à la vaccination (22), **très peu d'études sur le choléra proposent des stratégies opérationnelles globales, visant à maîtriser la recrudescence du choléra en Afrique en général et dans les zones continentales en particulier.**

C'est pour contribuer à apporter un début de solution à certains de ces problèmes sans réponse qu'il a été utile de conduire ce travail en République Démocratique du Congo, l'un des pays les plus touchés actuellement par le choléra dans le monde (6, 14, 15).

Plan de la thèse

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés à comprendre et identifier les différents facteurs expliquant la persistance des épidémies de choléra dans la région des Grands Lacs de la République Démocratique du Congo (RDC).

Dans la première partie du travail, l'historique du choléra en RDC et une revue de la situation générale du choléra seront présentés avec un accent particulier sur la situation en Afrique et en RDC.

Nous nous attacherons à détailler les particularités de la gestion du choléra en République Démocratique du Congo jusqu'en 2005 (avant le début du présent travail de recherche)

Dans une deuxième partie, nous décrirons les conditions et contexte de déroulement du présent travail.

En effet, la collecte des données, les missions sur le terrain et l'ensemble du processus ayant permis la réalisation de ce travail seront présentés. Cette partie du travail permettra de comprendre pourquoi ce type de travail sur une telle approche est si rare en Afrique.

La troisième partie du travail sera consacrée aux aspects méthodologiques.

Dans un premier temps, pour ce qui est de l'étude de la dynamique propre du choléra dans la partie congolaise de la région des Grands Lacs, nous présenterons en les décrivant, les différentes méthodes de collecte des données, les processus d'analyses statistiques et géographiques utilisés, la méthodologie de l'approche socio-anthropologique, les méthodes de biologie utilisées pour la confirmation biologique des cas de choléra.

Dans un deuxième temps, nous présenterons la démarche santé publique ayant permis de transformer très rapidement en mesure de politique de santé publique les résultats scientifiques de ce travail. Dans cette rubrique, la méthodologie du suivi et de l'évaluation du projet opérationnel initié sur le terrain pour réorienter l'approche terrain de lutte contre le choléra en RDC sera présentée.

La rubrique résultats sera consacrée à la présentation de la dynamique spatiale et temporelle du choléra à l'est de la RDC. Les facteurs de risques de persistance du choléra et d'explosion de flambée épidémique seront également passé en revue.

Une synthèse des points forts du « plan stratégique d'élimination du choléra en RDC », document de santé publique basé sur les résultats de ce travail de recherche sera présentée. Nous présenterons également de façon synthétique le plan de mise en œuvre du plan d'élimination du choléra en RDC ainsi que les résultats opérationnels des premières mesures mises en œuvre sur le terrain depuis février 2008.

Avant de conclure, nous discuterons les principaux résultats de ce travail, leur apport par rapport à la situation jusque là connue de la gestion du choléra en RDC et en Afrique, et les perspectives futures qu'ouvrent ce travail pour la lutte contre le choléra dans les pays d'Afrique en général (qui rapportent chaque année plus de 90% des cas et des décès notifiés par l'Organisation Mondiale de la Santé [OMS]) et dans ceux ayant des zones lacustres en particulier.

Une conclusion présentera l'originalité épidémiologique et opérationnelle de ce travail et insistera sur sa reproductibilité à d'autres pays d'Afrique. En effet, le fait qu'un tel travail débouchant immédiatement sur une application opérationnelle ait pu se faire dans un pays aussi complexe que la RDC, permet d'espérer que cela peut se mettre en place dans d'autres pays d'Afrique affectés par la même problématique. Sur le plan de la recherche, ce travail a ouvert de nombreuses pistes à explorer. Ces pistes seront rapidement passées en revue dans une approche des perspectives scientifiques.

Avant Propos

L'objet de ce paragraphe est d'éclairer le lecteur sur la difficulté de mener des études de terrain dans le contexte d'un pays comme la RDC.

Il s'agit de donner des éléments d'information permettant d'expliquer pourquoi ce type de recherche n'est généralement pas mené dans les pays en crise. Les objectifs scientifiques, les enjeux de santé publique et institutionnels de ce travail sont tels qu'il était difficile de faire faire ce travail par un jeune chercheur sans expérience professionnelle suffisante. Il fallait avoir suffisamment de recul sur la problématique réelle du choléra en RDC et en Afrique.

Les nombreuses missions de terrain à effectuer, les rencontres avec les Organisations Non Gouvernementales (ONG), le travail avec les différents échelons du Ministère de la Santé et les agences des Nations Unies, nécessitaient une expérience solide dans les aspects opérationnels de la lutte contre le choléra et une connaissance approfondie des environnements humanitaire et de santé publique.

De plus, s'agissant d'un sujet négligé, il était important d'être particulièrement motivé pour affronter **les contraintes d'un tel travail**. Le fait d'avoir longtemps travaillé sur les épidémies (avec le Ministère de la Santé publique et avec les ONG internationales humanitaires) en général et sur le choléra en particulier (de façon continue depuis l'année 2000), et d'être particulièrement intéressé et impliqué sur le terrain dans la réflexion sur la prise en charge du choléra, a été un facteur qui nous a aidé à surmonter les difficultés rencontrées durant le déroulement de ce travail.

Malgré le constat partagé par plusieurs acteurs et institutions sur la nécessité de conduire des études dans le but de mieux comprendre la problématique du choléra (15, 23, 24), aucune institution n'était prête à financer la réalisation de ce travail de recherche. **Aucun appel d'offre de bourse de thèse, aucune piste de financement intégral ne répondait au profil de notre candidature, ni même à la thématique de recherche.** Ainsi, il n'a pas été possible d'obtenir une bourse de thèse et il fallut recourir à divers expédients pour parvenir à couvrir nos besoins financiers.

Pourtant **plusieurs institutions se sont rapidement intéressé aux tout premiers résultats (pourtant encore non publiés en ce temps) de ces travaux de recherche.** C'est ainsi qu'elles ont pu apporter quelques contributions pour financer certains aspects inhérents à la poursuite de la réalisation du travail de recherche et à l'application sur le terrain des premières recommandations sous forme de projet pilote. Parmi ces institutions, il y a l'Institut de Médecine et d'Epidémiologie Appliquée de la Fondation Léon Mba (Paris, France), la Région de Franche-Comté (Besançon, France), l'Université de Franche-Comté (Besançon, France) et la Fondation d'entreprise Veolia Environnement (Paris, France). Ce travail de recherche a bénéficié d'un total appui politique et administratif des plus hautes responsables du Ministère de la Santé Publique de la RDC. C'est ainsi qu'il a été possible de faire remonter, depuis les différentes zones de santé et Inspectons Provinciale de la Santé, vers Besançon, les données sur le choléra de la phase prospective du travail.

Entre juillet 2005 et mars 2009 (soit du master 2 à la fin de la thèse), **huit missions de terrain ont été organisées en RDC en partant de Besançon**. Ces missions ont permis de visiter les lieux suivants : Kinshasa, Lubumbashi (ainsi que des zones urbaines et rurales du Katanga), Goma, Bukavu (ainsi que des zones urbaines et rurales du Nord-Kivu), la province du Kasai Oriental (Mbuji Mayi, Mwene Ditu, et d'autres zones rurales). Ces missions (surtout la première effectuée en août 2005 au Kasai Oriental) se sont souvent déroulées dans des conditions très difficiles.

En effet, **la RDC est un pays très difficile d'accès**. Lors de la réalisation de ces missions, à plusieurs reprises, et de façon ponctuelle, nous avons obtenu des aides de diverses ONG humanitaires internationales (MSF France, MSF Belgique, Médecins Du Monde France), des équipes des inspections sanitaires des provinces visitées, des équipes des bureaux centraux des zones de santé, des personnels des hôpitaux, des centres de santé et des centres de traitement du choléra.

Malgré ces aides, **la réalisation de ces missions de terrain reste relativement dangereuse**. Par exemple, le principal moyen pour atteindre certaines zones enclavées reste l'avion. Or le nombre d'accidents d'avion dans ce pays est particulièrement élevé. En avril 2008, l'avion de la compagnie Hewa Bora, qui nous avait amenés de Kinshasa à Lubumbashi, s'est finalement écrasé deux jours plus tard à l'aéroport de Goma faisant près de 40 morts (dont un volontaire MSF) et une centaine de blessés. En septembre 2008, un autre avion, cette fois d'une agence humanitaire agréée par l'Union Européenne (Airserv), s'écrasait sur les collines du Sud-Kivu, non loin de Bukavu (bilan : 17 personnes tuées, tous des travailleurs humanitaires et des agents du gouvernement en mission). Une fois encore, deux semaines plutôt, nous étions à bord d'un de ces petits avions de la compagnie Airserv, sur le trajet Bukama-Lubumbashi (au Katanga).

La collecte des données s'est faite en deux temps.

Les données correspondant aux années 1999 à 2004 étaient déjà disponibles, mais très incomplètes (beaucoup de données manquantes). Il a donc été nécessaire de faire le tour des acteurs présents sur le terrain, de fouiller dans leurs ordinateurs, registres et amas de formulaires pour compléter nos bases de données. Il arrivait que des bases de données entières soient « *perdues* » dans des ordinateurs dont les disques durs étaient hors d'usage (attaque de virus, choc électrique ou mécanique). Dans ce cas, il a parfois fallu recourir à des méthodes de récupération de données dans des disques durs « *abîmés* ». Les autres données, correspondant à la période allant de 2005 à 2008 ont été recueillies soit par des enquêtes sur le terrain, soit de façon prospective.

Pour la partie prospective, nous nous sommes reposés sur le système national de surveillance épidémiologique. Cependant, pour pallier ses insuffisances (faible promptitude, faible complétude, manque d'analyses et de vérification continue, faible nombre de rétro-information à la base) nous avons dû mettre en place (ou réactiver lorsque c'était possible), un système de surveillance épidémiologique sur le modèle déjà utilisé par Epicentre en RDC (de 1998 à 2003). Ce système repose sur quelques personnes très motivées et ayant une compétence avérée en matière de surveillance épidémiologique (certains ayant travaillé dans le projet DLM/Epicentre entre 2000 et 2003). Il s'agit de personnes travaillant déjà à différents échelons de la chaîne de la surveillance épidémiologique nationale.

Pour maintenir performant ce système, il était important que chaque semaine, les données reçues de ces personnes soient analysées et que les acteurs de terrain reçoivent en retour une information traitée avec des questionnements sur la situation épidémiologique. En plus de cette rétro-information, chaque donnée aberrante constatée, chaque retard de notification devait faire l'objet d'un courriel ou d'un appel téléphonique. Ce n'est qu'au prix d'un tel investissement au sommet de la chaîne de surveillance que ce type de système peut perdurer. C'est ce que nous avons fait depuis Besançon à partir de 2005, où nous avons dû gérer, depuis la France, un système de surveillance épidémiologique qui permet aujourd'hui d'avoir des bases de données à jour (quasiment à la semaine près), et ce jusqu'à présent. **Cette deuxième partie de données collectées de manière prospective a permis d'augmenter les tailles des séries temporelles ainsi que les couvertures géographiques des zones d'étude.** Cette condition était nécessaire pour vérifier des hypothèses en rapport avec la dynamique temporelle et spatiale du choléra.

Le fait d'avoir travaillé longtemps (bien avant la thèse) dans le système de gestion des maladies, d'avoir été médecin au sein du Ministère de la Santé, au sein du projet Epicentre, au sein de Médecins Sans Frontières (France et Belgique), d'avoir côtoyé la plupart des partenaires intervenant dans la lutte contre les épidémies en RDC (OMS, UNICEF, autres ONG, ...) a beaucoup facilité les relations avec tous ces partenaires. La recherche des données complémentaires sur le choléra produites par ces diverses organisations a ainsi été facilitée par ces bonnes relations.

Afin de prendre en compte tous les facteurs pouvant influencer la dynamique des épidémies de choléra en RDC, nous avons multiplié des collaborations avec d'autres équipes de recherche. C'est ainsi que nous avons contacté les équipes du laboratoire de limnologie du Musée Royal d'Afrique Centrale de Tervuren en Belgique, les équipes de télédétection de l'Université de Liège (Belgique) et les équipes de l'Institut National de Recherche Biomédicale de Kinshasa (RDC). Etant donné que nous n'étions pas connus au niveau international dans cette thématique, il a fallu chaque fois un temps de plaidoyer pour que nous soyons acceptés pour la mise en place de partenariat de recherche. Le travail présenté ici est donc le fruit d'un travail en réseau impliquant diverses équipes apportant chacune un savoir-faire particulier.

Un effort particulier a été fait afin de faciliter l'appropriation par les autorités du Ministère de la Santé Publique ainsi que d'autres acteurs de terrain, des résultats de ce travail. Nous avons maintenu notre présence au sein de la DLM comme médecin épidémiologiste en charge de la lutte contre la maladie au sein du Ministère de la Santé Publique ; nous avons continué à informer les autorités régulièrement de l'état d'avancement des travaux, invité à Besançon le secrétaire général à la santé de la RDC (de cette époque, en mai 2006) ; nous avons continué à communiquer la partie utile de nos résultats avec les ONG humanitaires médicales internationales ainsi qu'avec les agences des Nations Unies ; nous avons continué à participer à des réunions au niveau international avec les différents acteurs impliqués dans la problématique du choléra, multiplier des activités de lobbying pour obtenir des moyens de mise en oeuvre des résultats. C'est ainsi que la Fondation d'entreprise Veolia Environnement a été sollicitée pour aider le Ministère de la Santé à mettre en place les recommandations opérationnelles issues de ce travail.

Etant donné le vide de connaissance sur ce domaine dans ces régions fortement touchées d'Afrique, **cette intense activité de communication a conduit à l'utilisation rapide des résultats de cette thèse.** Plusieurs ONG humanitaires internationales travaillant dans le domaine du choléra (ou simplement des maladies diarrhéiques d'origine hydrique) ont déjà obtenu des financements sur des concepts issus de ce travail de thèse. **Les autorités ministérielles de la RDC ont élaboré un plan stratégique d'élimination du choléra, entièrement basé sur les résultats de ce travail.** Depuis mai 2008, date de la tenue d'un atelier sur le choléra organisé conjointement par l'OMS et l'Unicef à Dakar, ces organisations procèdent maintenant à la diffusion ce travail qui a beaucoup inspiré les nouvelles recommandations « *dites de Dakar* » portant sur la re-dynamisation de la lutte contre le choléra en Afrique (24).

GENERALITES

I. Le Vibrio cholerae

Le choléra est causé par une bactérie appartenant à l'espèce *Vibrio cholerae*.

Il est le fait de bacilles Gram négatifs, incurvés, présentant un flagelle polaire unique qui lui confère une grande mobilité, mobilité caractéristique du genre *Vibrio*. *Vibrio cholerae* - *V. cholerae* - est en effet un germe hydrique, qui existait bien avant d'infecter l'homme. On le retrouve essentiellement dans les eaux saumâtres, plutôt chaudes, par exemple dans les estuaires des fleuves d'Asie du Sud-Est (10, 11). Cependant, *V. cholerae* peut aussi survivre quelques temps dans l'eau douce et il peut résister au froid (25). Ainsi, l'eau de boisson contaminée, les glaces fabriquées avec de l'eau contaminée et la nourriture représentent, avec la transmission inter-humaine, les principales sources d'infection humaine (26). En revanche, *V. cholerae* est tué par la chaleur, l'acidité et le chlore. Les *V. cholerae* présentent une grande diversité au niveau de leur couverture antigénique.

Il est ainsi possible de les identifier et de les classer en agglutinant les bactéries avec des sérums reconnaissant les différents antigènes à la surface des *V. cholerae*. C'est ainsi que plus de 200 sérogroupes ont été définis, dont seulement deux, O1 et O139 sont susceptibles de sécréter une toxine, appelée toxine cholérique, et ainsi de provoquer le choléra. Les autres souches, qui présentent les caractères biochimiques propres à l'espèce *V. cholerae* mais ne sont pas agglutinées par les sérums anti-O1 et anti-O139, sont appelées *V. cholerae* non O1 non O139 (27-34). Elles peuvent toucher l'homme de manière sporadique mais n'ont, jusqu'ici, jamais été associées avec des épidémies de diarrhée grave chez l'homme. Cependant, même si elles ne provoquent pas d'épidémies de choléra, ces souches non O1 non O139 sont parfois à l'origine de quelques cas groupés de maladies diarrhéiques.

Ces souches peuvent aussi être à l'origine d'infections extra-intestinales, parfois sévères, comme des infections sur blessures ou des épisodes septiques aigus, en particulier chez des sujets immunodéprimés. Au sein du séro groupe O1, deux biotypes, appelés « classique » et « El Tor » ont été identifiés (35). Ils peuvent être différenciés par de nombreuses techniques biologiques telles que les tests d'hémolyse et d'héماغglutination, la susceptibilité à différents phages (virus attaquant les bactéries), la sensibilité à la polymixine B et la réaction de Voges-Proskauer. L'approche la plus récente passe par la recherche de gènes spécifiques de chaque biotype (par exemple tcpA, rtxC) (36).

En pathologie humaine, l'identification de l'espèce, du séro groupe et éventuellement du biotype suffisent largement à faire le diagnostic de choléra. Cependant, dans certains cas, il peut être intéressant d'aller plus loin dans l'identification, par exemple pour retracer le cheminement des souches lors d'une épidémie ou pour rechercher une origine environnementale à un clone épidémique. Ainsi, chacun des biotypes de O1 peut encore être subdivisé en sérotypes, selon la production d'antigènes par la souche. Les souches de sérotype Ogawa produisent des antigènes A et B et une petite quantité d'antigène C, tandis que les souches de sérotype Inaba produisent uniquement des antigènes de type A et C.

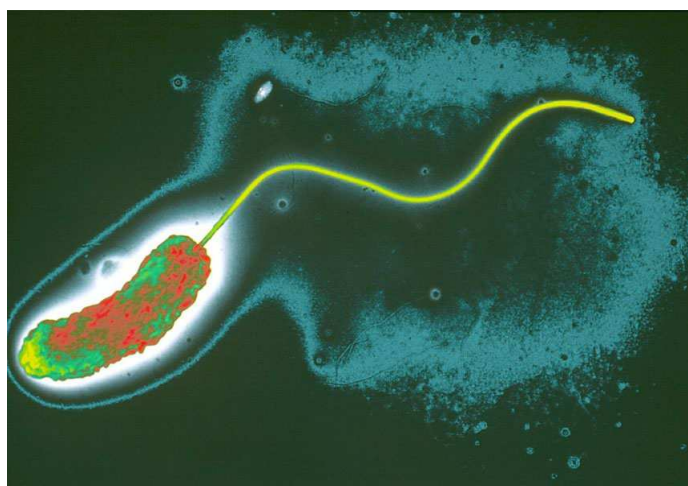


Figure 1 : Photographie électronique du *Vibrio cholerae*

Source : http://www.nature.com/nature/journal/v406/n6795/fig_tab/406469a0_F1.html.
Reprint License Number 2273550511527

Notons qu'au cours d'une épidémie, les souches peuvent évoluer et changer de sérotype. Il existe un troisième sérotype, appelé Hikojima, capable de produire les trois types d'antigènes. Ce sérotype est cependant rare et instable. Les souches de *V. cholerae* appartenant au même biotype et au même sérotype peuvent encore être différenciées par leur susceptibilité aux phages (145 profils différents pour O1 et 5 pour O139) ou bien par leur ribotypes (7 ribotypes parmi les souches *V. cholerae* O1 classiques, 20 pour les souches *V. cholerae* O1 El Tor et 6 autres *V. cholerae* O139) (27-34). L'électrophorèse des isoenzymes permet aussi de différencier *V. cholerae* O1 classique et *V. cholerae* O1 El Tor, et au sein de ce dernier, de distinguer 4 groupes principaux représentatifs de vastes aires géographiques : le clone australien, le clone du golfe du Mexique, le clone de la septième pandémie et le clone Sud-américain (37).

Au total, les études d'épidémiologie moléculaire ont montré que, s'il existe, parmi *V. cholerae* O1 et O139 un grand nombre de souches distinctes en circulation, la plupart des flambées sont dues à quelques clones. Il existe même des souches de *V. cholerae* O1 et O139 incapables de provoquer des cas de choléra et donc d'être impliquées dans les épidémies. Ces souches n'ont pas l'équipement génétique leur permettant de devenir pathogène pour l'homme. En particulier, elles ne produisent pas de toxine cholérique.

***Vibrio cholerae* et son environnement naturel**

A l'état naturel, *V. cholerae* se développe dans les eaux saumâtres (à la fois salées et alcalines), chargées de matières organiques et de plancton, telles qu'on peut en trouver dans les zones côtières, où l'eau douce provenant des cours d'eau se mêle à l'eau salée de la mer (11). *V. cholerae* y colonise la surface de certaines algues ainsi que celle de copépodes, pouvant ainsi persister dans l'environnement en l'absence de l'homme pendant des périodes de temps prolongées. La survie de *V. cholerae* sur le plancton est à l'origine des quelques épidémies survenues après la consommation par l'homme de fruits de mer récoltés dans des zones côtières polluées par des matières organiques (38). Dans les réservoirs côtiers, les populations de *V. cholerae* vont fluctuer en fonction des

conditions environnementales (39). Il a ainsi été montré, au Bangladesh, que la fréquence des cas de choléra augmentait lors de la saison chaude et humide, période pendant laquelle le plancton et les algues prolifèrent dans les eaux saumâtres (11, 40).

Si inversement l'environnement devient défavorable, *V. cholerae* est capable de se transformer en une forme viable mais non cultivable (41). Ainsi, en cas de déplétion en nutriments, de diminution de température, ou d'excès de salinité de l'eau, les bactéries ne sont plus détectées par des méthodes de culture habituelles, mais n'en demeurent pas moins potentiellement pathogènes (41). Même si les liens entre *V. cholerae* et l'environnement apparaissent certains, l'évaluation des risques en fonction de l'écologie de *V. cholerae* est loin d'être évidente. Par exemple, lorsque des cas de choléra surviennent au sein de populations vivant en zone d'endémie, comment distinguer ce qui tient à l'écologie de *V. cholerae*, ce qui est relatif au comportement humain, ou ce qui est consécutif aux activités humaines sur l'écologie des zones d'endémie ?

Les estuaires des fleuves et les zones côtières constituent un écosystème dynamique, dont les populations de *V. cholerae* sont une des composantes en équilibre avec d'autres organismes constituant le plancton. Ces écosystèmes sont facilement perturbés par l'activité humaine et certains auteurs ont émis l'hypothèse que la pollution organique et industrielle pourrait, en modifiant l'écosystème, influencer sur la virulence bactérienne dans le milieu extérieur avant même que les bactéries n'aient été ingérées (42).

Les liens existant entre les populations de *V. cholerae*, les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de leur environnement naturel et l'activité humaine peuvent aussi nous amener à nous interroger sur les conséquences des changements environnementaux générés par l'homme à l'échelle de la planète et en particulier sur les conséquences médicales possibles du réchauffement de la planète.

Plusieurs études ont déjà mis en évidence les liens entre la fréquence des cas de choléra au Bangladesh, la température des eaux de surface dans le golfe du Bengale et l'abondance saisonnière des eaux en plancton (43, 44). Dans cette région du globe, où le choléra est endémique, un lien statistique a aussi été mis en évidence entre les variations d'incidence du choléra d'une année sur l'autre, et le phénomène d'oscillation australe (responsable du phénomène El Niño). L'oscillation australe est un vaste mouvement de bascule atmosphérique centré sur le Pacifique équatorial. La variation de pression atmosphérique s'accompagne dans les zones environnantes de fluctuations de la force du vent, des courants océaniques, des températures de la surface de la mer et des précipitations (43-45).

Les effets des oscillations australes se font sentir jusque dans des régions éloignées. Outre son effet sur la recrudescence du choléra au Bangladesh, sa responsabilité a été évoquée, du fait d'un accroissement des pluies, dans les flambées épidémiques qui ont touché les pays de l'Est africain en 1997-1998. De même, certains auteurs ont noté la coïncidence entre l'arrivée du choléra en Amérique du Sud en 1991, puis sa réactivation en 1998 et la survenue de deux épisodes du phénomène El Niño ces deux années.

L'effet du réchauffement climatique sur la fréquence et sur l'amplitude des phénomènes d'oscillations australes reste incertain, mais il est possible que dans

l'avenir ces phénomènes soient à la fois plus fréquents et plus intenses. Quoi qu'il en soit, même si ces phénomènes venaient à s'intensifier, rien ne dit que le risque de choléra en soit réellement accru. Ce risque est en effet aussi la conséquence d'interactions multiples entre l'agent pathogène, *V. cholerae* et son hôte humain. Ces interactions évoluent elles-aussi dans le temps. Le *V. cholerae* n'a pas toujours été l'agent pathogène tant redouté comme celui qu'on connaît actuellement. L'apparition de ce tueur d'hommes est consécutive à l'action d'autres agents pathogènes qui s'attaquent, non pas à l'homme, mais aux bactéries : les bactériophages.

Les phages VPIΦ, CTXΦ et les souches pathogènes de V. cholerae

La capacité des souches de *V. cholerae* à provoquer le choléra chez l'homme dépend de la présence, dans leur génome de deux ensembles de gènes appelés îlots de pathogénicité (46).

Le premier, appelé *toxin coregulated pilus* (TCP), contient les gènes responsables de la synthèse de facteurs permettant la colonisation des muqueuses par *V. cholerae* (47). Les gènes contenus dans TCP codent en particulier pour la synthèse de filaments bactériens favorisant l'adhésion de la bactérie aux cellules intestinales humaines (48). Certains auteurs ont montré que cet îlot de pathogénicité est en fait le génome d'un bactériophage appelé VPIΦ, qui se transmet d'un *V. cholerae* à un autre (46).

Le deuxième ensemble de gènes de virulence correspond lui aussi au génome d'un bactériophage, appelé phage CTXΦ. Ainsi, l'acquisition des caractères pathogènes par *V. cholerae* serait le fruit de l'attaque de la bactérie par des éléments viraux capables d'y injecter leurs génomes (46, 49). Dans la plupart des cas, l'attaque d'une bactérie par un bactériophage se traduit par la lyse de la bactérie. Le génome du phage est en effet multiplié puis de nouveaux phages sont formés grâce à l'équipement enzymatique de la bactérie, jusqu'à entraîner la destruction de l'hôte bactérien et la dispersion dans le milieu ambiant de milliers de copies des bactériophages. Dans d'autres cas, un équilibre est trouvé entre le phage et son hôte bactérien, et le génome du phage est simplement incorporé dans celui de la bactérie. La bactérie peut ainsi survivre tandis que le génome du phage peut être reproduit chaque fois qu'elle se divise.

Ce phénomène, qui aboutit à l'acquisition par une bactérie du génome d'un phage et lui permet donc de synthétiser les protéines codées par ce génome est appelé lysogénie. Il est à l'origine de l'acquisition de caractères pathogènes chez plusieurs bactéries et est connu depuis assez longtemps en pathologie humaine. C'est le cas en particulier de la scarlatine, une maladie infectieuse due à des Streptocoques exprimant une toxine provenant de phages. C'est aussi grâce à la lysogénie que certaines souches de *V. cholerae* échappent à la destruction par les phages VPIΦ et CTXΦ et incorporent les gènes dans leur génome, les gènes de ces phages qui vont rendre la bactérie plus virulente pour l'homme.

L'action conjuguée de ces deux phages confère, en effet, à *V. cholerae* un ensemble de caractères de virulence, incluant des facteurs favorisant sa fixation sur la muqueuse intestinale et une toxine provoquant les symptômes du choléra. Cependant, le cas du phage VPIΦ et du phage CTXΦ présente une particularité tout à fait unique. En effet, le phage CTXΦ ne peut se fixer que sur les *V. cholerae* que s'ils

possèdent un récepteur spécifique. Or ce récepteur n'est pas codé par un gène issu du patrimoine génétique initial de *V. cholerae*, mais par un gène provenant du génome de VPIΦ. Ainsi, et c'est la première fois que cela était mis en évidence, le phage VPIΦ code pour un récepteur permettant au phage CTXΦ de venir incorporer son génome à celui de *V. cholerae*.



Figure 2 : Un copépode, d'après les Dr Rita Colweel et Anward Huq

Source : www.livescience.com/php/multimedia/imagedispl...

Parmi tous les facteurs de virulence apportés par les deux phages, c'est finalement la toxine cholérique, issue du génome de CTXΦ qui est responsable des symptômes. Cette toxine, dont la masse est de 84.000 kDa est composée de cinq sous-unités B, et d'une sous-unité A (50). Les sous-unités B servent à la fixation de la toxine sur des récepteurs (GM1 ganglioside) situés sur la muqueuse de l'intestin grêle de l'homme. La sous-unité A, est responsable de l'effet toxique. Cette dernière est, quant à elle, composée de deux fractions A1 et A2 reliées par un pont disulfure. Après réduction du pont disulfure, la sous-unité A1 pénètre dans la cellule intestinale pour atteindre sa cible, une protéine membranaire, la protéine Gs. Une fois fixée, elle active une cascade de mécanismes cellulaires impliquant une enzyme, l'adénylate cyclase, et dont la conséquence sera l'altération des transporteurs membranaires de la cellule intestinale.

L'absorption de Na⁺ vers l'intérieur de la cellule est inhibée, le Cl⁻ et les autres anions sont ainsi attirés vers l'extérieur de la cellule. Il en résulte une fuite massive de chlorure de sodium, de bicarbonates, de potassium et d'eau dans le tube digestif excédant les capacités normales de réabsorption au niveau du gros intestin (51). Cette fuite se traduit par de la diarrhée, des vomissements et par une déshydratation pouvant conduire au décès du patient si elle n'est pas corrigée à temps. Ainsi, le choléra est essentiellement dû à une toxine que certaines souches de *V. cholerae* ont acquise suite à leurs infections successives par deux phages, VPIΦ et CTXΦ.

En schématisant à l'extrême, *V. cholerae* n'est pas réellement l'agent pathogène mais plutôt un vecteur transmettant une toxine qu'un phage lui a préalablement inoculée. L'origine de cette toxine n'est pas encore bien connue. Toutefois, elle est très proche, d'un point de vue phylogénétique, d'une autre toxine, appelée Etx, une

entérotoxine thermolabile, qui peut, elle aussi, transformer *Escherichia coli*, une inoffensive bactérie de la flore digestive humaine, en une bactérie pathogène pour l'homme. Où CTXΦ a-t-il pu acquérir les gènes (appelés ctxA et ctxB) codant pour cette toxine ? Comment en est-il venu à coopérer avec cet autre phage VPIΦ qui lui a fourni l'opportunité de venir infecter certaines souches de *V. cholerae* ? C'est une autre histoire que la recherche scientifique nous permettra peut-être de connaître un jour.

Conséquences chez l'homme : le choléra maladie

La clinique du choléra est très simple à comprendre dès lors que l'on connaît le rôle majeur joué par la toxine cholérique dans les mouvements ioniques et hydriques de l'organisme d'un sujet infecté.

Après une incubation variant de quelques heures à cinq jours, les symptômes, essentiellement diarrhée et vomissements, apparaissent brutalement. Le signe clinique le plus caractéristique est la diarrhée très abondante, hydrique, pratiquement sans matières fécales, d'odeur fétide et d'aspect grisâtre avec des particules blanchâtres en suspension, décrite sous le terme « *eau de riz* » (eau obtenue après cuisson du riz). Les vomissements peuvent aussi être abondants, hydriques et alcalins. Dans la forme classique chez l'adulte, les pertes hydriques atteignent rapidement 0,5 à 1 litre par heure, entraînant rapidement un tableau de déshydratation sévère. Diarrhée et vomissements peuvent être accompagnés de crampes musculaires, de douleurs abdominales, mais pas de fièvre. Les autres signes du choléra sont secondaires à la déshydratation et varient selon son importance : soif (pertes de 3 à 5% du poids du corps), hypotension orthostatique, tachycardie, début de pli cutané (5 à 8%), pouls filant, hypotonie oculaire, plis cutané marqué (fontanelle déprimée chez l'enfant), altération de l'état général et troubles de la vigilance (à partir de 10%), coma et convulsions.

La déshydratation s'accompagne d'une anurie, qui ne se corrigera que si le patient est correctement réhydraté. De nombreux patients peuvent aussi présenter des signes d'acidose métabolique avec des signes respiratoires tels qu'une dyspnée de Kussmaul. Dans sa forme la plus aiguë, le patient décède en quelques heures d'un choc hypovolémique, parfois même avant d'avoir extériorisé la diarrhée.

Plusieurs complications, généralement liées à un traitement inadéquat peuvent aussi survenir. Il peut s'agir d'insuffisance rénale organique liée à une hypotension prolongée en rapport avec une correction trop tardive ou insuffisante de la déshydratation. D'autres patients peuvent présenter une hypoglycémie plus ou moins sévère selon les cas ou une hypokaliémie, en particulier lorsque la réhydratation est menée avec des solutés non appropriés (51). Des fausses couches ou des accouchements prématurés peuvent survenir chez les femmes enceintes à la suite d'une hypoperfusion placentaire (51).

Notons dès maintenant que **la survenue brutale, dans un contexte épidémique, de cette maladie qui va toucher des personnes initialement en parfaite état de santé apparente et modifier leur aspect radicalement, en seulement quelques heures, a de quoi effrayer le commun des mortels.** La déshydratation aiguë transforme les victimes en une caricature desséchée de leur propre apparence initiale. Les troubles respiratoires et l'agonie peuvent s'accompagner d'une cyanose donnant une couleur bleue à la peau, et de troubles neurologiques, évoquant un phénomène de possession.



Figure 3 : La Mort égorgeuse, Epidémie de choléra à Paris en 1832 par Heinrich Heine

Source: http://www.amicale-genealogie.org/Histoires_temps-passe/Epidemies/chol03.gif

A partir d'un récit du célèbre poète allemand Heinrich Heine, Alfred Rethel a gravé en 1851 la scène de l'émergence soudaine de l'épidémie de choléra en l'an 1832 à Paris. Ici, pendant un bal masqué du carnaval de Paris, la mort surgit de façon soudaine, se mêle à la foule et y joue une sorte de violon, pendant que les musiciens fuient. Près d'eux, une silhouette féminine décharnée, enveloppée d'un suaire: symbole de la maladie. Au premier plan, des fêtards ont déjà succombé au fléau.

Comment cette maladie, dont l'aspect peut être si fantastique, pouvait-elle toucher des villes sans effrayer les foules ? Et que dire lorsque l'épidémie se met à frapper en plein carnaval ? Le poète allemand Heinrich Heine, décrivait, ainsi dans une lettre à un ami, une flambée de choléra à Paris lors d'un bal masqué *«Soudain le plus gai des Arlequins s'effondra, les membres froids et enleva son masque, la face violet bleu. Le rieur mourut, la danse cessa et en quelques instants des chariots de gens se précipitaient depuis le bal jusqu'à l'Hôtel Dieu pour mourir, et pour éviter une panique parmi les*

patients, les morts étaient poussés sans ménagement dans des tombes rudimentaires dans leur costume d'Arlequin » Comment ne pas succomber à la panique dans un tel contexte, surtout pour ceux qui ignorent la cause de la maladie ?

Cependant, le choléra ne se présente pas toujours sous une forme aussi grave, au contraire. La grande majorité des patients contaminés par le choléra reste asymptomatique ou ne présente qu'un épisode diarrhéique banal que le patient n'identifie pas au choléra.

Ceci est dû pour une part aux différences inter-individuelles en matière de susceptibilité au choléra (groupe sanguin, acidité gastrique, immunisation antérieure (52)) et d'autre part, à la quantité de bactéries ingérées. D'un point de vue médical, cette forte proportion de patients asymptomatiques et pauci-symptomatiques est un bienfait, mais d'un point de vue épidémiologique, elle a malheureusement des conséquences sur la dissémination du germe. En effet, l'existence de porteurs asymptomatiques rend caduque toute tentative de dépistage des porteurs et gêne les tentatives d'interruption de la transmission. Enfin, pour la bactérie et le phage CTXΦ, l'existence de porteurs asymptomatiques est plutôt bénéfique, car cela leur permet de voyager avec leur nouvel hôte humain sans le tuer, ni même l'immobiliser, et ainsi d'accroître les chances d'aller coloniser de nouveaux biotopes qui auraient été inaccessible pour eux sans l'aide de l'homme.

Maintenant que l'agent pathogène et sa toxine ont été présentés et que les aspects cliniques de la maladie chez l'homme ont été expliqués, nous pouvons étudier l'impact des épidémies de choléra dans des sociétés humaines.

Impact des épidémies de choléra dans les sociétés humaines

De même qu'un mur représente bien plus que l'addition des pierres qui le composent, **une épidémie ne se présente pas comme la simple accumulation de cas isolés**. Le caractère épidémique d'une maladie, a fortiori quand l'épidémie devient pandémie et s'étend sur plusieurs continents, lui donne une dimension qui dépasse le cadre médical pour devenir politique et sociétale.

Le choléra, plus encore que les autres maladies infectieuses, a, depuis des siècles, entretenu des liens très étroits avec les sociétés humaines. Cette maladie a en effet la particularité de changer radicalement de faciès épidémiologique et de distribution géographique selon la période historique concernée. Pour mieux comprendre l'actualité du choléra, il est ainsi indispensable de revenir en arrière de quelques centaines d'années. Avant le dix-neuvième siècle, le choléra était inconnu des sociétés occidentales, mais on en retrouve la trace dans le sous-continent indien, en particulier dans les zones bordant le golfe du Bengale.

Des écrits d'Hippocrate, de même que certains textes sanscrits, font déjà référence à des décès causés par des diarrhées accompagnées de manifestations cliniques de déshydratation (53). En 1573, Garcia del Huerto, un médecin portugais, décrit une épidémie de choléra survenue dans le port de Goa, récemment colonisé par les Portugais (53). **Aux 17^{ème} et 18^{ème} siècles, le choléra reste encore confiné en Asie. Ce n'est qu'en 1817 que la première pandémie de choléra survient.** L'épidémie semble avoir débuté lors des fêtes de Kumbha, des fêtes traditionnelles qui se tiennent à Hardwar dans l'état de

l'Utah Pradesh au nord de l'Inde. Ces fêtes ont duré trois mois, accueillant des pèlerins en provenance de tout le pays. La maladie a probablement été amenée par des pèlerins originaires de l'estuaire du Gange. A la fin des festivités, les pèlerins, de retour dans leurs régions d'origine, ont disséminé le choléra dans tout le sous-continent.

Il n'existe aucun relevé dénombrant les cas survenus en Inde parmi la population autochtone, mais, rien que pour l'armée impériale Britannique, 10 000 décès ont été dénombrés. La pandémie durera jusqu'en 1824, s'étendant jusqu'à la Chine et les Philippines à l'est, Madagascar au sud, l'Iran et la Turquie à l'ouest (54). Les déplacements de troupes ont joué un rôle primordial dans la dissémination du choléra, en particulier en Inde et au Népal, en Iran et en Turquie, comme le commerce aussi, essentiellement par bateau, et déjà, les pèlerinages à La Mecque. L'Europe occidentale fut épargnée par cette première pandémie, mais le répit fut de courte durée.

Dès 1829 débute la deuxième pandémie. Son début est assez comparable à la précédente avec un départ à partir des réservoirs environnementaux du golfe du Bengale ; mais sa diffusion sera encore plus rapide et surtout plus étendue en direction de l'ouest et des grandes métropoles occidentales. Dès 1831 la vague atteint l'Angleterre. Le 26 octobre, un premier patient meurt du choléra. Mais personne ne veut l'admettre. Les autorités politiques, influencées par les marchands et les industriels du textile, étaient opposées à toute mesure de quarantaine. Pour l'administration, il n'y avait pas de choléra en Angleterre. Inutile de dire que cela n'a pas facilité la mise en place de mesures de lutte contre l'épidémie.

Et pourtant, **jamais les grandes métropoles occidentales, et en particulier Londres, n'avaient été aussi vulnérables aux maladies transmises par l'eau.** Avec l'avènement de l'ère industrielle et le manque de travail dans les campagnes anglaises, une nombreuse population rurale était venue s'installer dans les grandes villes. Les familles immigraient vers les centres urbains, souvent avec du bétail, vivant à huit ou dix dans une seule pièce, avec leurs animaux. Durant la première moitié du 19^{ème} siècle, la population de Londres s'est accrue jusqu'à atteindre 2,5 millions d'habitants. Les villes ne disposaient pas des infrastructures sanitaires rendues encore plus nécessaires par l'afflux de nouveaux arrivants. Les nouvelles constructions étaient bâties sans approvisionnement en eau potable et sans système d'évacuation des eaux usées, les propriétaires recherchant avant tout à minimiser les coûts et à accroître leurs profits. Si des latrines étaient construites, ce n'était qu'au rez-de-chaussée et les habitants des étages supérieurs avaient l'habitude de vider leur pot de chambre par la fenêtre.

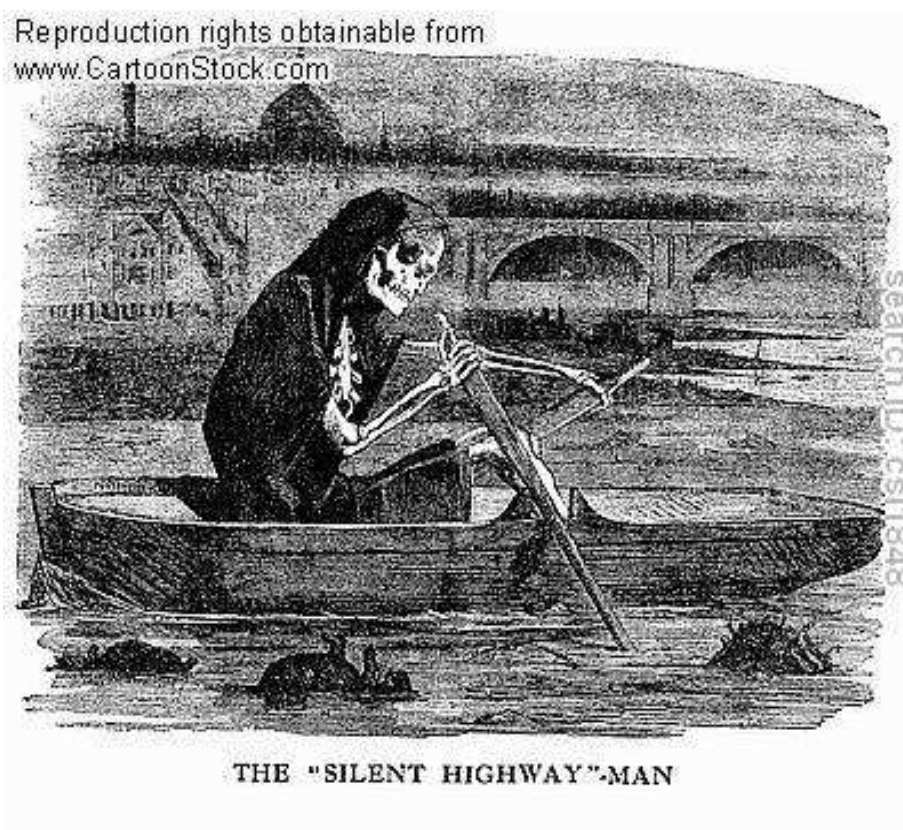


Figure 4 : Epidémie de choléra à Londres en 1849
Caricature illustrant la mort symbolisant le choléra, navigant
dans le silence sur la Tamise à Londres. Punch, July 10, 1858
Source : <http://www.victorianlondon.org/health/thamescondition.htm>

Au fur et à mesure que la population augmentait, les odeurs pestilentielles, générées par plus de 200 000 fosses d'aisance et par les eaux d'égouts qui s'écoulaient dans les caniveaux et les fossés en direction de la Tamise. Avec les pluies, les fossés débordaient et l'eau s'introduisait dans les maisons et sur les marchés. Les rivières représentaient, à l'époque, à la fois un système d'égout à ciel ouvert et la principale ressource en eau potable des citadins. L'eau, parfois puisée en aval des égouts, n'était pas désinfectée avant d'être distribuée.

Après Londres, de nombreuses métropoles furent touchées. Par diffusion, le choléra s'étendit sur l'ensemble de l'Europe, le pourtour méditerranéen et, pour la première fois, dans les zones les plus industrialisées d'Amérique.

La France ne fut touchée qu'au printemps 1832. Les autorités politiques et les médecins eurent le temps de voir arriver le fléau. En juin 1831, pour tenter d'éviter la propagation du fléau en France, Casimir Périer réactive une loi sur les contrôles sanitaires aux frontières. Malgré ces vaines mesures - rappelons que pendant une épidémie, de nombreux porteurs de germes restent asymptomatiques - le choléra ravagera la France comme le reste de l'Europe. Le nombre de morts est estimé à 100 000 dont 20 000 à Paris, qui comptait 800 000 habitants à l'époque. Les mêmes causes générèrent les mêmes effets : la situation de l'hygiène à Paris n'était guère plus enviable qu'à Londres. L'eau des fontaines provenait de réservoirs en plein air, de canaux et de rivières non protégés, aussi utilisés pour la navigation tandis que les puits procuraient l'eau d'une nappe phréatique située à seulement quelques mètres de profondeur et facilement contaminée.

Comme à Londres avec la Tamise, de nombreux parisiens se procuraient leur eau de boisson directement dans la Seine.

La diffusion du choléra toucha aussi les Amériques, à commencer par les principaux ports de la côte Est des Etats Unis. A New York quelques médecins admirent que le choléra était en effet épidémique à New York, mais nombreux furent ceux qui, au côté du banquier John Pintard, contestèrent cette allégation. Le banquier demanda aux médecins s'ils avaient la moindre idée de ce qu'une telle annonce pouvait entraîner pour les affaires dans la ville. Ainsi, comme à Londres un peu avant, la présence du choléra a d'abord été niée. Cette attitude mérite d'être soulignée, car elle sera très fréquemment adoptée par les autorités politiques confrontées à l'intrusion du choléra dans le territoire dont ils ont la charge.



Figure 5 : Epidémie de choléra à New York en 1832

Figure tirée de VALENTINE'S MANUAL OF OLD NEW YORK, N°6, New series, 1922, Edition Henry Collins Browns, 388pp, New York 1924.

Source : www.nytimes.com/slideshow/2008/04/15/science/...

A partir de New York et d'autres ports de la côte Est, le choléra commença à diffuser de ville en ville. Des mesures de quarantaine furent mises en place, mais sans succès, les voyageurs parvenant à entrer dans les villes encore indemnes malgré l'intervention de milices armées chargées d'interdire l'accès à tout voyageur. A New York, le choléra finit par avoir raison de la vie sociale. Les visiteurs étaient frappés par le silence des rues de New York, d'une propreté inhabituelle, et couvertes de chlorure de chaux. Même sur Broadway les piétons étaient si rares que le passage d'un cavalier devenait une curiosité. Une jeune femme s'est souvenue avoir vu des touffes d'herbes pousser dans les rues. Il est intéressant de noter que le même phénomène de sidération de

la vie sociale s'est reproduit dans d'autres épidémies, comme à Philadelphie, lors de l'épidémie de grippe espagnole en 1918.

La lutte contre les pandémies de choléra était d'autant plus difficile que les causes de la maladie étaient inconnues à cette époque. Ni la nature de l'agent responsable, ni ses liens avec l'eau, n'étaient identifiés. **La plupart des médecins pensaient que la maladie était provoquée par l'inhalation de vapeurs ou miasmes.** Cette croyance ne faisait qu'aggraver encore la peur du choléra, les habitants des zones touchées par l'épidémie ne pouvaient pas s'arrêter de respirer pour éviter d'être contaminés.



Figure 6 : Gravure symbolisant le choléra et les miasmes

Source: londonparticulars.wordpress.com/.../19/snow-ho/ et <http://www.climateaudit.org/?p=1113#44>

Malaria/Cholera are caused by "bad air", also called miasma. Lots of people died as a result.
Le choléra se déplaçant à partir des mauvais airs et contaminant les populations

Les liens entre le choléra et l'eau n'ont été mis en évidence qu'au cours de la troisième pandémie qui débuta en 1841 et qui reprit, pratiquement à l'identique le trajet de la pandémie précédente.

Ce fut un médecin londonien, John Snow, qui en 1849, publia une théorie faisant de l'eau le vecteur du choléra. Il expliqua que le choléra ne pouvait être transmis par voie aérienne, car la maladie ne touchait pas les poumons. Mais sa théorie fut ignorée ou attaquée par beaucoup de médecins, parce qu'il n'était pas en mesure de mettre en évidence le « *poison* » dans l'eau. Ce ne fut que lorsqu'une deuxième vague épidémique de la même pandémie toucha à nouveau Londres que John Snow put démontrer le bien fondé de sa théorie. Il cartographia les cas de décès par choléra et vit que ceux-ci se concentraient dans certains quartiers, puis, comparant des populations s'approvisionnant à différents points d'eau, il démontra que le risque de décéder par choléra était bien plus fort

chez les personnes s'approvisionnant à une pompe de Broad Street que chez les autres habitants du quartier se fournissant sur un autre réseau d'adduction (54).



Figure 7 : Le docteur John SNOW

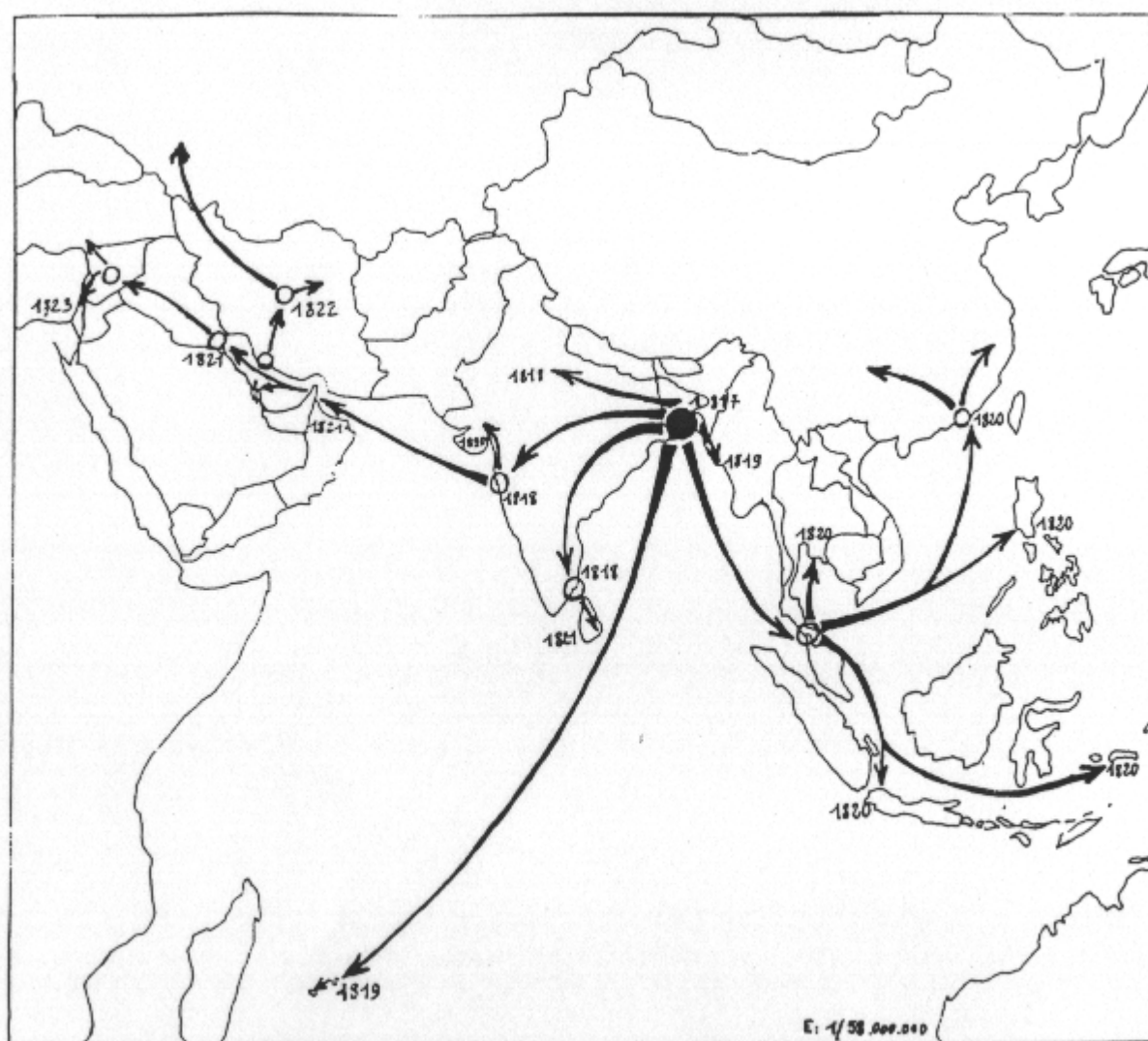
<http://londonparticulars.wordpress.com/2009/08/12/west-end-boy/> –

Il communiqua ses conclusions aux autorités municipales. La pompe incriminée fut neutralisée et le nombre de cas diminua rapidement (pour être tout à fait exact, dans une publication récente, il est dit que la décroissance des cas avait débuté avant la neutralisation de cette pompe (55)). A cette époque, deux compagnies approvisionnaient le quartier, l'une puisait une eau relativement saine, l'autre, dont les zones de pompage étaient plus en aval, puisait une eau contaminée par les égouts de la ville. Bien que depuis 1852, un texte contraigne les producteurs d'eau à la filtrer avant de la distribuer, un ingénieur de la compagnie avoua que l'eau était pompée directement dans la Tamise et distribuée telle quelle.

En 1854, la 3^{ème} pandémie tua 4 500 personnes dans cette partie de Londres. La bactérie responsable fut finalement découverte en 1883, lors de la quatrième pandémie, par Robert Koch. Elle fut d'abord appelée *Vibrio comma*, à cause de son aspect incurvé en virgule. Il fallut cependant encore des années avant que les travaux de Koch ne fussent reconnus par la communauté scientifique internationale et que le concept de maladies transmissibles par l'eau ne fut totalement accepté, du moins par les scientifiques. La bactérie changea alors de nom pour s'appeler *Vibrio cholerae*.

Parallèlement, à partir de la deuxième moitié du 19^{ème} siècle, l'hygiène s'améliora nettement dans les grandes villes occidentales, les égouts furent rénovés, la fourniture en eau potable fut sécurisée et, à partir du début du 20^{ème} siècle, le choléra ne fut plus une menace pour les pays industrialisés.

Au total, durant le 19^{ème} siècle, cinq pandémies frappèrent le monde par vagues successives. La sixième pandémie, qui débuta en 1899, épargna, pour l'essentiel, l'ouest de l'Europe et les Amériques. Le visage du choléra venait de changer ; avec l'amélioration de l'hygiène dans les grandes villes, le choléra abandonna les pays industrialisés pour prendre pour cibles les pays les moins développés. Durant une centaine d'année, la maladie avait su tirer profit du décalage qui était apparu entre, d'une part, l'accroissement de l'activité commerciale, l'accélération des transports terrestres et maritimes et le développement des relations internationales, et d'autre part, la misère dans laquelle vivait le prolétariat de l'époque, alliée à l'ignorance et à l'incurie des autorités médicales et politiques.



CARTE II - Diffusion du choléra (1817-1823)
(d'après les données d'A. Moreau de Jonnès, 1824)

Figure 8 : Les voies de diffusion de la première pandémie de choléra à partir de 1817
En 1817, pour la première fois, le choléra sort de son sanctuaire du delta du golfe du Bengale.

Source : http://fig-st-die.education.fr/actes/actes_2000/thouez/article.htm

La septième pandémie, qui frappe le monde depuis plus de quarante ans, va adopter une répartition géographique très différente, donner lieu à des aspects cliniques moins impressionnants. Elle conservera toutefois l'essentiel des déterminants qui permirent au choléra de causer les six premières pandémies et que nous venons de rappeler ci-dessus.

La septième pandémie et le choléra en Afrique

La septième pandémie débuta dans l'archipel de Sulawesi en Indonésie.

Elle est due au biotype El Tor, isolé en 1905 au lazaret d'El Tor dans le Sinaï, chez des pèlerins décédés du choléra. Pendant longtemps, le choléra restera cantonné au Sulawesi et ce n'est qu'en 1961 que l'épidémie franchira les frontières de cette île. Le choléra s'étendra alors de proche en proche jusqu'à la Méditerranée et atteindra même le sud de l'Europe (Espagne, Portugal et Italie) au début des années 70. **C'est à cette époque que le choléra envahit l'Afrique Noire, restée indemne de la maladie depuis près d'un siècle.**

Le premier pays touché fut la Guinée Conakry, où le choléra aurait été introduit par un avion. Pour certains, l'avion venait de Russie, pour d'autres, d'Egypte ou de La Mecque (56, 57). Le fait est que, si la Guinée est bien reconnue comme point de départ de l'invasion de l'Afrique de l'Ouest par le choléra, bien peu d'éléments ont été publiés sur l'épidémie de choléra de Conakry survenue en juillet et août 1970. Il semble que le diagnostic ait été posé rapidement, mais les autorités politiques, reproduisant en cela les attitudes des dirigeants européens du 19^{ème} siècle, ont préféré nier l'épidémie le plus longtemps possible. Entre août et décembre, le choléra a diffusé le long d'une bande côtière allant de la Guinée jusqu'au Nigeria.

L'arrivée du choléra en Afrique sub-saharienne ne pouvait plus être niée, mais il était trop tard pour enrayer l'invasion. D'autant plus que les zones sahéliennes allaient bientôt être elles aussi touchées. Ce fut en effet à partir du mois de novembre, que Mopti, une ville située sur le delta intérieur du fleuve Niger, fut atteinte. La conjonction à Mopti, d'un réseau d'eaux de surface facilement souillées, d'une importante foire régionale et du passage de nombreux nomades en transhumance avec leurs troupeaux permit au choléra de prospérer dans la ville et de là, de diffuser dans tout le Sahel (57).

En quelques mois, le choléra atteignit le Sénégal et la Mauritanie à l'ouest et le Tchad, à l'est. D'après plusieurs documents sur l'historique du choléra en Afrique, il semblerait que le choléra ne se soit pas diffusé en Afrique à partir d'une seule porte d'entrée, celle de la Guinée. En réalité, d'après Sverdlow et Isaäcson (4), il y a eu trois portes d'entrée du choléra en Afrique. En plus de la Guinée (août 1970), d'où le choléra s'est propagé sur toute la façade occidentale de l'Afrique grâce aux mouvements de populations, parmi lesquelles certains pêcheurs, des commerçants et des pèlerins, il y a eu deux autres portes d'entrée du choléra en Afrique. La deuxième correspondait à l'Afrique du Nord où le choléra s'est introduit, en septembre 1970, par la Libye. Enfin, la troisième porte d'entrée est celle rapportée sur la côte orientale de l'Afrique. Les premiers cas sur cette façade orientale de l'Afrique ont été rapportés en novembre 1970 à Djibouti avant de toucher au même moment l'Ethiopie et la Somalie.

Depuis cette période, la région des Grands Lacs, fait partie de l'une des plus touchées par le choléra dans le monde et en Afrique. La forte incidence du choléra dans la région des Grands Lacs est également attestée par les articles de synthèse publiés par Gaffga (7).et Emch (10).

Les épidémies africaines de ces dernières décennies ont parfois été facilitées par les nombreux conflits, souvent chroniques, qui désorganisent les systèmes de santé, entravent le développement sanitaire et, à l'occasion d'une exacerbation, jettent sur les routes des milliers de personnes qui iront s'entasser dans des camps de fortune où, la promiscuité aidant, le risque épidémique devient majeur.

L'épidémie de choléra dans les camps de réfugiés de Goma en 1994 en est l'exemple type. L'installation de ces camps faisait suite à une des plus grandes catastrophes humanitaires du vingtième siècle. Dans les suites du génocide rwandais. Des camps immenses avaient été établis en hâte mais l'ampleur de la population réfugiée était telle que la mise en œuvre des mesures de prévention des épidémies (assainissement des camps, mise en place de latrines, approvisionnement en eau potable) n'a pu être réalisée à temps. Ainsi, la quantité d'eau potable distribuée pendant les premières semaines d'installation des camps, ne représentait que 0,2 litres par jour et par personne (58). Il en aurait fallu 5 litres au strict minimum. Bien évidemment, les réfugiés ne sont pas restés sans boire, mais ils ne disposaient que de ressources en eau qui furent très vite massivement contaminées.



Figure 9 : choléra dans les camps de réfugiés Rwandais à Goma en 1994

Un père portant son enfant malade au cours de l'épidémie de choléra en 1994 qui a coûté des milliers de vies à Goma, au Zaïre, à plus d'un million de personnes ayant fui les combats au Rwanda.

Source : health.howstuffworks.com/10-worst-epidemics6.htm

L'épidémie qui suivit fit plusieurs dizaines de milliers de victimes en quelques semaines. L'ampleur de l'épidémie fut telle que ses conséquences en termes de mortalité et de morbidité n'ont pu être mesurées précisément. Les cadavres étaient laissés sur le bord des routes traversées par les camps, enveloppés de leur natte ou d'un pagne. Chaque matin, sur des kilomètres, les routes empruntées par les réfugiés comme par les intervenants humanitaires étaient bordées de dizaines de ces macabres colis que les militaires de l'opération Turquoise venaient ramasser pour les incinérer. On retrouva même, à cette occasion, ces formes cliniques fulgurantes décrites au 19^{ème} siècle en Europe, entraînant le décès brutal de certains patients, alors que durant le 20^{ème} siècle, ces formes particulièrement effrayantes avaient laissé la place à des manifestations moins spectaculaires de la maladie.

Les conflits ne sont cependant pas obligatoires et le choléra continué à trouver son chemin, repassant souvent là où il a déjà frappé quelques années auparavant. En 2003 Mopti était à nouveau atteint et comme en 1970, l'épidémie suivit le trajet du fleuve Niger pour atteindre le Niger, puis l'année suivante, le Tchad. Comme en 1970, la contamination des ressources en eau et les déplacements de population, certains liées à la pêche, d'autres à l'élevage, ont contribué à la diffusion de l'épidémie.

Le choléra est maintenant considéré comme endémique en Afrique, mais le terme endémique est, ici, relativement ambigu. A l'échelle du continent, le choléra est certes présent en permanence, mais dès lors que l'on s'adresse à un territoire plus restreint, l'on assiste à une succession d'épidémies entrecoupées de périodes de calme pendant lesquelles le choléra disparaît complètement. Vu à la télévision, monde virtuel où l'Afrique est considérée comme une entité unique, le choléra est endémique. Vu d'un village ou d'un quartier africain, il est généralement épidémique : le choléra arrive brutalement, souvent en provenance d'un village ou d'une ville voisine, et repart après quelques semaines. Les écologues parlent de méta-endémie : la présence de l'agent pathogène est maintenue de manière dynamique, par des vagues épidémiques successives qui ne quittent plus le territoire africain.

Dans quelques régions côtières, cependant, il est possible que *V. Cholerae* O1 El Tor ait trouvé temporairement ou définitivement, un refuge environnemental dans des lagunes ou des estuaires de fleuves. Ce n'est cependant pas inéluctable. Ainsi, l'épidémie de choléra qui toucha la Grande Comore en 1975 fut suivie d'une période sans aucun cas qui dura plus de 20 ans, alors que cette île est en partie bordée par une mangrove, biotope théoriquement favorable à l'installation de *V. cholerae*. Qu'il ait ou non trouvé un réservoir environnemental pérenne, *V. cholerae* O1 El Tor, asiatique de naissance, baptisé dans le Sinaï et élevé en Indonésie est maintenant un africain d'adoption.

Certes, il a envahi une bonne part de l'Amérique latine au début des années 90 générant plus d'un million de cas, mais, après une dizaine d'année, il a pratiquement disparu de cette région du globe. Certes, il est encore rencontré en Asie (parfois en provenance d'Afrique comme l'attestent certaines études d'épidémiologie moléculaire) (59). Mais **l'Afrique est maintenant le continent le plus touché.** Et de loin !

En 2003, seulement 26 cas avaient été notifiés en provenance d'Amérique latine, contre 108 067 en Afrique et 3 463 en Asie (60). Même s'il est clair que tout les cas ne sont pas rapportés, il est difficile d'imaginer que des épidémies de grande ampleur aient pu passer inaperçues tant en Asie qu'en Amérique. Pour conclure ce paragraphe, il faut

noter que *V. cholerae* O1 El Tor n'est plus seul à causer des épidémies. Un autre *V. cholerae* est maintenant apparu, provenant d'Asie, et plus particulièrement du golfe du Bengale. Il s'agit de *V. cholerae* O139 aussi appelé souche Bengale. Il sévit en Asie du Sud depuis 1992 mais n'a été, jusqu'ici, qu'exceptionnellement isolé sur d'autres continents. Il est cependant tout aussi contagieux que *V. cholerae* O1 et pourrait un jour donner lieu à la 8^{ème} pandémie, d'autant plus qu'il est en mesure de se propager parmi des populations immunisées contre *V. cholerae* O1.

Finalement, ce qui est étonnant, ce n'est pas la persistance du choléra en Asie d'où peuvent émerger de nouvelles souches pathogènes à partir d'un réservoir environnemental. Ce n'est pas non plus la disparition du choléra en Amérique du Sud : l'Europe, cent ans avant, avait bien réussi à se protéger contre ce fléau asiatique. Ce qui est étonnant, maintenant que l'homme dispose de connaissances précises et de moyens efficaces pour lutter contre le choléra, c'est son développement en Afrique subsaharienne, dans des régions parfois situées à des milliers de kilomètres des côtes océaniques considérées comme propices à un ancrage environnemental de la maladie. C'est le cas du choléra en République Démocratique du Congo.

II. Le choléra en RDC

Certains écrits d'explorateurs européens comme Livingstone décrivent des cas de diarrhée avec déshydratation qui pourraient faire évoquer la présence de cas de choléra en RDC dès le 19^{ème} siècle (61) sur les rives du Tanganyika. Cependant, c'est avec la septième pandémie de choléra que la RDC sera durablement touchée par cette maladie.

Le choléra a été introduit en RDC (à l'époque Zaïre) sur deux fronts. D'abord à l'ouest en 1974, par la province du Bas Congo, puis à l'est en 1977, par la ville de Kalemie au Katanga. Depuis cette période, des cas de choléra sont régulièrement rapportés en RDC où, depuis la fin des années 1970, de nombreuses flambées épidémiques ont été rapportées (62-68).

Pour mieux comprendre la problématique du choléra en RDC, une bonne connaissance de ce pays, de l'organisation générale de son système de santé, de son système de surveillance épidémiologique et de riposte aux épidémies s'avère nécessaire.

A La République du Congo : contexte et présentation générale

Bref aperçu du contexte général

L'actuelle République Démocratique du Congo a d'abord été une ancienne colonie privée du roi Léopold II de Belgique (1886-1908) avant de devenir une colonie du Royaume de Belgique à partir de 1908. Le pays devient indépendant le 30 juin 1960.

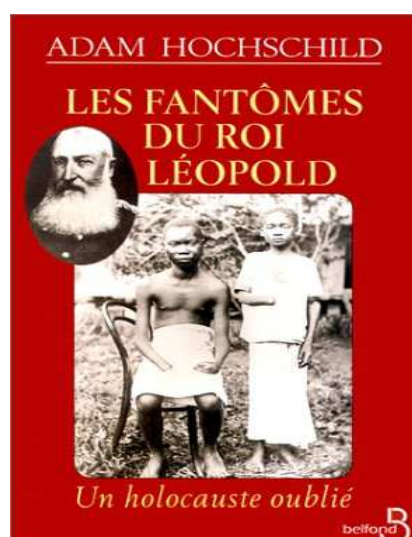


Figure 10 : Couverture du livre *les fantômes du Roi Leopold II*

Cette photo reprise par Adam Hoschild représente deux Congolais amputés des mains pour n'avoir pas totalisé leur quota journalier d'hévéa. Ceci se passe à l'époque où le Congo était une colonie privée du Roi des Belges.

Source : <http://www.pressafrique.com/images/Hoschild.jpg>

En 1971, Mobutu, qui a pris le pouvoir en 1965, rebaptise le pays Zaïre. Dirigé par un régime quasi monarchique, le pays n'a pas pu amorcer son développement économique et social près de 30 ans après avoir acquis son indépendance. Pourtant, **malgré la cruauté du régime colonial du roi des Belges, Léopold II (69), et la dureté de la colonisation belge le pays a hérité de quelques infrastructures : l'industrie cuprifère au Katanga, les palmeraies de l'Equateur, des écoles techniques, des agents de santé rôdés par des coopérants belges, un port maritime, quelques routes principales, un réseau de chemin de fer** (même s'il fut construit pour les intérêts du colonisateur).

Ces infrastructures lui promettaient un fort potentiel pour un décollage rapide après l'indépendance. Malheureusement, les crises économiques des années 1972 et des années 1982 ainsi que les conséquences des programmes d'ajustement structurel imposés par les institutions du Bretton Woods, la gouvernance du pays, ont précipité le Zaïre de l'époque dans une grave crise économique dont les conséquences se sont fait sentir surtout à partir des années 1985.

C'est dans ce contexte de crise économique que le 24 avril 1990, le Maréchal Mobutu, président de l'époque, contraint par la conjoncture intérieure et internationale, décrète la démocratisation du pays. Malgré cela, plusieurs manifestations sont organisées dans le pays pour réclamer plus de liberté et plus de démocratie. La répression sanglante de ce qu'il est convenu d'appeler par « *les événements de Lubumbashi* » en mai 1990, plus connus sous le nom de massacre du campus de Lubumbashi (dans la nuit du 11 au 12 mai 1990) (70), constituera un tournant majeur de l'histoire contemporaine du Zaïre.

En effet, **à la suite de ce massacre, le Zaïre se retrouve isolé diplomatiquement, les relations avec les institutions internationales sont gelées, le pays s'enfonce dans la crise, sans assistance internationale.** C'est à partir de ce moment, que **l'aide de la communauté internationale aux populations est systématiquement acheminée par l'intermédiaire des Organisations Non Gouvernementales internationales** (dont Médecins Sans Frontières, International Rescue Comitee, ...) et des agences des Nations Unies comme l'UNICEF, l'OMS, le PAM, la FAO. Dans plusieurs secteurs, comme celui de la santé, le rôle et l'implication de l'Etat deviennent de plus en plus marginaux alors que celui des ONG et des agences des Nations Unies se renforce.

Sans moyens financiers et sans aide internationale, le gouvernement de Mobutu se retrouve dans l'impossibilité de payer les salaires, des arriérés s'accumulent et la grogne enfle jusque dans les casernes. Pour se payer (eux même), les militaires d'abord, puis toute la population des grandes villes, descendent dans les rues à deux reprises, en septembre 1991 et en janvier 1993, pillant et saccageant tout ce qui pouvait l'être (du public au privé). C'est ce qui a été appelé les pillages de Kinshasa (71, 72).

Lors de ces pillages, tout a été détruit, jusqu'aux archives dans les services publics. C'est lors de ces événements que de grandes unités de production dont la chaîne de montage de véhicules de la firme Général Motors installée dans la zone industrielle de Kinshasa avaient été saccagées et pillées, laissant sans emploi des milliers de travailleurs, et sans ressources plusieurs milliers de familles. Ces pillages ont considérablement aggravé la situation socio-économique du pays.

C'est donc dans un pays fragilisé politiquement, économiquement, et socialement qu'affluent en 1994, un peu plus d'un million de réfugiés Rwandais,

dans la partie est de l'ex-Zaïre. Cet afflux de réfugiés a été responsable, entre autre, de la plus grande épidémie de choléra que le pays ait jamais connue. L'arrivée des réfugiés sera aussi le point de départ d'une période de très grande instabilité dans l'est du pays, entretenue par d'énormes enjeux politiques et économiques.

En 1996, un mouvement politico-militaire congolais (Alliance des Forces Démocratiques pour la Libération du Congo- AFDL) conduit, depuis les frontières Est de l'ex-Zaïre, un mouvement contre le régime de Mobutu. Le 17 mai 1997, les troupes de l'AFDL conduite par Laurent Désiré KABILA, entrent à Kinshasa, tandis que, quelques jours avant, Mobutu s'exilait au Togo (puis au Maroc où il trouvera la mort le 7 septembre 1997). La même année (en 1997), le Zaïre redevient la République Démocratique du Congo. Le 2 août 1998, une nouvelle rébellion éclate au Kivu (région frontalière du Rwanda). Elle dégénère rapidement en conflit régional opposant les forces congolaises appuyées par l'Angola, la Namibie, le Zimbabwe et le Tchad à des troupes rebelles appuyées par le Rwanda et l'Ouganda.

Après six ans d'affrontements armés (de 1998 à 2003), un traité de fin d'hostilités est signé en 2003, un gouvernement de transition est mis en place et des élections sont organisées en 2006. Ce processus conduit à la pacification de la quasi-totalité de l'ensemble du pays à l'exception de deux districts de l'Ituri et des deux Kivu où des groupes armés refusant le processus de paix ont continué à combattre les troupes loyalistes. Après plusieurs tractations, le processus de paix en Ituri finit par aboutir et actuellement la région est quasiment pacifiée.

Même s'il persiste encore dans les territoires du parc national de la Garamba (au nord-est de la Province Orientale) des poches de résistance de la rébellion ougandaise de L'Armée de Résistance du Seigneur (LRA de Joseph Koni), les deux Kivu également sont actuellement quasiment pacifiés. L'accord de paix issu du processus Amani, conclu à Goma en 2007 entre les différents belligérants, a constitué le socle sur lequel un accord durable a été conclu en 2009. Ce dernier accord a fait suite à une amélioration de la situation politico-militaire dans les deux Kivu, situation ayant conduit à la mise aux arrêts du général déchu Laurent Nkunda.

Même s'il persiste encore quelques poches de résistance des FDLR (Front Démocratique pour la Libération du Rwanda) dans certaines zones enclavées des deux provinces du Kivu, **la situation du Kivu est bien meilleure aujourd'hui qu'elle ne l'a jamais été durant ces dix dernières années. Elle devrait s'améliorer encore tant la volonté politique au niveau national et international est plus forte que jamais pour imposer la paix dans cette région de l'Afrique des Grands Lacs.**

Aperçu géographique et démographique

La RDC est située en Afrique centrale entre le 4^{ème} degré de latitude Nord et le 2^{ème} degré de latitude Sud. Elle est limitée par la République du Congo et l'Angola à l'ouest, la République Centrafricaine et le Soudan au nord, l'Ouganda, le Rwanda, le Burundi et la Tanzanie à l'est, l'Angola et la Zambie au sud (**Figure 11, page 64**). De par son étendue (2 345 000 km², pour une population estimée à près de 60 millions d'habitants soit une densité de 21 habitants au km²), **la RDC est le troisième pays d'Afrique après le Soudan et l'Algérie.** Situé à cheval entre deux fuseaux horaires, **le pays est quatre fois plus vaste que la France et 80 fois plus vaste que la Belgique.** Le seul débouché

maritime du pays est une étroite bande de territoire de 37 km sur la rive nord du fleuve Congo (région de Moanda dans le Bas-Congo).

C'est un pays qui a une population relativement jeune, dont environ 40 % est âgée de moins de 25 ans (73). Le taux de croissance de la population est de 3% et les projections démographiques à l'horizon 2010, effectuées par l'Institut National de la Statistique à partir des données du recensement scientifique de 1984 sont de 69 339 560 habitants [50-53, 58]. La population est répartie de façon très hétérogène avec des densités de population plus fortes à l'est qu'à l'ouest.

Les densités de population les plus importantes sont observées à l'Est où la densité moyenne est comprise entre 40 (sur les zones montagneuses) et 75 (dans certaines plaines en bordure des lacs). Jusqu'au début des années 1995, près de 80% de la population vivait en milieu rural avec comme activités principales : l'agriculture, la pêche, l'élevage et l'exploitation minière artisanale. A l'échelle du pays, le taux d'alphabétisation global des adultes est supérieur à 80 % pour les hommes et inférieur à 60 % pour les femmes. (65-68, 73). Ces chiffres sont plus faibles dans les zones rurales.

Les provinces les plus importantes de l'Est sont : le Katanga (9 598 380 hab., 497 076 km²), le Kasai Oriental (6 713 009 hab., 170 103 km²), le Nord-Kivu (4 667 699 hab., 53 855 km²), le Sud-Kivu (4 670 699 hab., 65 000 km²) et la Province Orientale (9 387 568 hab., 527 086 km²). Kinshasa, mégapole de près de 10 millions d'habitants, capitale du pays, est située à l'ouest, sur la rive gauche du fleuve Congo, juste en face de Brazzaville, capitale de l'autre Congo.

Depuis 1996, la grave crise socio-économique que traverse ce pays, aggravée par des troubles politico-militaires a entraîné un exode massif de population des zones rurales vers les zones urbaines. C'est ainsi que selon certaines estimations, des villes comme Kinshasa, Mbuji Mayi, Lubumbashi, Goma, Bukavu et d'autres de moindre importance comme Kalemie, Mbandaka, Kisangani, Bunia, Beni, Butembo, auraient vu leur population augmenter de 25 à 50% en moins de 10 ans. Cette explosion démographique des villes n'a pas été suivie d'un ajustement des infrastructures de base comme les réseaux de distribution d'eau potable, d'électricité ou les réseaux d'évacuation des eaux usées et de traitement des ordures.

Le réseau hydrographique en RDC

Les ressources en eau de surface de la RDC représentent 52% des réserves totales du continent et couvrent environ 86 080 km², soit 3,5 % de la superficie du pays. (74). Le réseau hydrographique est très dense, il se compose de fleuves, de nombreuses grandes rivières et de plusieurs lacs. Avec ses 4 320 km de longueur, un débit de 40 000 m³/seconde, et un bassin vaste de 3,75 millions de km², le fleuve Congo est, après le Nil, le deuxième fleuve le plus long d'Afrique. C'est le premier fleuve d'Afrique par son débit et le deuxième fleuve du monde, après l'Amazone, par la taille de son bassin. Il prend sa source dans le sud du Katanga, dans le village de Musofi à une altitude de 1 435 mètres et porte le nom de Lualaba jusqu'à Kisangani.

La RDC compte aussi plusieurs lacs, tant dans sa partie est qu'à l'ouest.

Les plus grands lacs de RDC sont situés à l'est du pays. On note parmi ces lacs : le lac Tanganyika, le lac Kivu, le lac Moero, le lac Edouard et le lac Albert. Au centre de la province du Katanga, autour du bassin du fleuve Congo, on retrouve de nombreux petits lacs dont le plus important est le lac Upemba dans la zone de santé de Bukama (Figure 12). La plupart des lacs de l'est de la RDC (lacs Tanganyika, Albert, Edward et Moero) sont d'origine tectonique à l'exception du lac Upemba et des autres petits lacs disséminés dans la partie centrale du Katanga. Ils font partie des lacs de la vallée du Rift et occupent les fonds des grabens. A l'exception du lac Albert qui aurait déjà existé au Miocène inférieur, ces lacs constituent des éléments de géographie physique récents et se sont surtout développés pendant le quaternaire.

Ces lacs offrent les caractéristiques typiques des lacs tectoniques : forme allongée dans une dépression bordée d'escarpements raides, rives peu échancrées, absence d'îles, grande profondeur (75). Le lac Tanganyika figure ainsi parmi les lacs les plus profonds du globe. Son nom, « *Etanga'ya'nia en bembé* (dialecte d'une ethnie locale du nord du Tanganyika implantée entre Uvira et Fizi, signifie « *lieu de mélange* ». On estime que sa formation remonte à environ 20 millions d'années (Miocène). Le lac Tanganyika fait partie du bassin hydraulique du fleuve Congo. Il s'y déverse par son exutoire, la Lukuga (jusqu'en 1878, cette rivière se jetait dans le lac, mais des mouvements tectoniques, et surtout la montée du niveau de l'eau, en ont inversé le sens vers le Congo).

Le bassin drainant du lac Tanganyika couvre une superficie de 250 000 km², soit l'équivalent de la moitié de la surface de la France. Les principales rivières qui l'alimentent en eau sont la Malagarazi, la Rusizi, l'Ifume, la Lufubu et la Lunangwa. Le lac est constitué de deux dépressions tectoniques emboîtées. La partie septentrionale a une profondeur de 1 310 m et la partie méridionale atteint une profondeur de 1 470 m. La dépression marécageuse de l'Upemba au centre du Katanga fait exception : on y trouve plusieurs lacs dont celui de l'Upemba qui probablement sont les vestiges d'une seule superficie lacustre, mais dont la profondeur varie entre 0,50 m et 3,25 m seulement.

On possède fort peu de renseignements sur le lac Moero, mais il est probablement d'origine tectonique. L'origine du lac Kivu est différente comme le montre d'ailleurs sa configuration morphologique, qui est celle d'un lac de barrage : nombreuses baies et îles, ces dernières disparaissant vers le nord. Ce sont les volcans de la chaîne des Virunga qui ont barré l'écoulement sud-nord d'un réseau hydrographique qui prenait ses sources sur le plateau des Bafulero, près du mont Mulhi. Signalons enfin la découverte d'un véritable gisement de méthane, dont les réserves sont estimées à plus de 57 milliards de m³, dans le lac Kivu, à partir d'une profondeur d'environ 300 m.

Bien plus à l'ouest, la cuvette centrale de la RDC possède aussi plusieurs étendues lacustres, dont les principales sont le lac Maidombe et le lac Tumba. On les considère comme les vestiges d'un lac plus important, qui aurait occupé une partie de la cuvette pendant une période courte dans l'histoire du réseau hydrographique du Zaïre. Ils sont peu profonds (la profondeur maximum du lac Maidombe dépasserait à peine 7 m et la profondeur moyenne du lac Tumba serait de 4 m). Les rives sont généralement marécageuses. Sur le plan des caractéristiques biochimiques, les lacs de l'Ouest sont acides, pauvres en plancton, avec une faible conductivité, alors que ceux de l'Est sont plus basiques (autour de 9,1), riches en plancton et avec une plus grande conductivité (entre 1940 et 2010 µS/Cm) (mesures effectuées lors d'une mission avec l'équipe de MSFB).

A l'exception des lacs Albert et Edward, qui appartiennent au bassin du Nil, tous les lacs de la RDC font partie du bassin du fleuve Congo. Certains jouent un rôle régulateur du régime des rivières en aval du lac (par exemple : les lacs de la dépression d'Upemba pour le régime du Lualaba aval). Mais cela implique que le niveau des lacs est dépendant de l'apport en eau par les rivières d'amont. Comme ces dernières ont souvent un régime caractérisé par des périodes d'étiage et de hautes eaux, le niveau des lacs varie d'une période de l'année à l'autre, et même d'une année à l'autre. C'est ainsi que le niveau de tous les lacs du fossé tectonique de l'est de la RDC a tendance à augmenter lors des années particulièrement pluvieuses (1964, 1978, 1982, 2006). En 1964, le lac Tanganyika atteignait alors un niveau record de 776,90 m et des inondations ont été signalées dans les localités de Kalemie, Uvira, Bujumbura et Kigoma. On comprend dès lors l'importance d'assurer une évacuation normale des eaux du Tanganyika par la Lukuga. Malheureusement cette rivière connaît un alluvionnement important près de l'exutoire du lac. Cet alluvionnement est de plus favorisé par le développement considérable des roseaux et constitue une véritable menace de bouchon sur la Lukuga.

Aperçu climatique

D'une façon générale, la République Démocratique du Congo bénéficie, sur la majeure partie de son territoire, de deux saisons : une saison sèche et une saison des pluies. La durée de la saison sèche et de la saison des pluies n'est pas la même partout. Les différences sont plus marquées à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur.

Les saisons des pluies durent du mois d'avril à la fin du mois de juin et du mois de septembre à la fin du mois d'octobre, le reste des périodes étant occupé par la saison sèche. Toutefois, **en fonction des particularités géographiques de chaque sous-région de ce vaste pays, on peut distinguer quatre micro-climats (Figure 13) :**

- **un climat équatorial au Centre** (saison des pluies de 8 à 10 mois), retrouvé dans la cuvette équatoriale, avec des précipitations autour de 2 m de pluie par an, sans véritable saison sèche, une humidité atmosphérique constamment élevée (70 à 85 %), et des températures variant autour d'une moyenne de 25 à 27 °C. ;

- **un climat tropical et humide au Nord et au Sud**, retrouvé dans le Katanga méridional où six mois secs alternent avec six mois pluvieux, avec une pluviométrie moyenne annuelle variant entre 1 000 et 1 500 mm ;

- **un climat tempéré en altitude à l'Est**, où les précipitations varient de 800 mm sur le littoral du lac Tanganyika à plus de 2 500 mm dans les régions montagneuses à l'ouest du Lac Kivu - ces hautes terres, aux températures tempérées, comparables à celles du Rwanda et du Burundi voisins, contrastent vigoureusement avec les étendues chaudes et humides de l'intérieur du bassin ;

- **un climat de type montagnard dans l'extrême Est**, allant du lac Kivu au lac Albert, où températures moyennes sont plus fraîches, oscillant entre 16 à 18 °C (76).



Figure 11 : Carte de la République Démocratique du Congo

Source : www.issafrica.org/AF/profiles/drcongo/index.htm



Figure 12 : Le réseau hydrographique de la République Démocratique du Congo

Source : version 1.2 ou plus récente publiée par la [Free Software Foundation](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Pluie_rdc.svg)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Pluie_rdc.svg

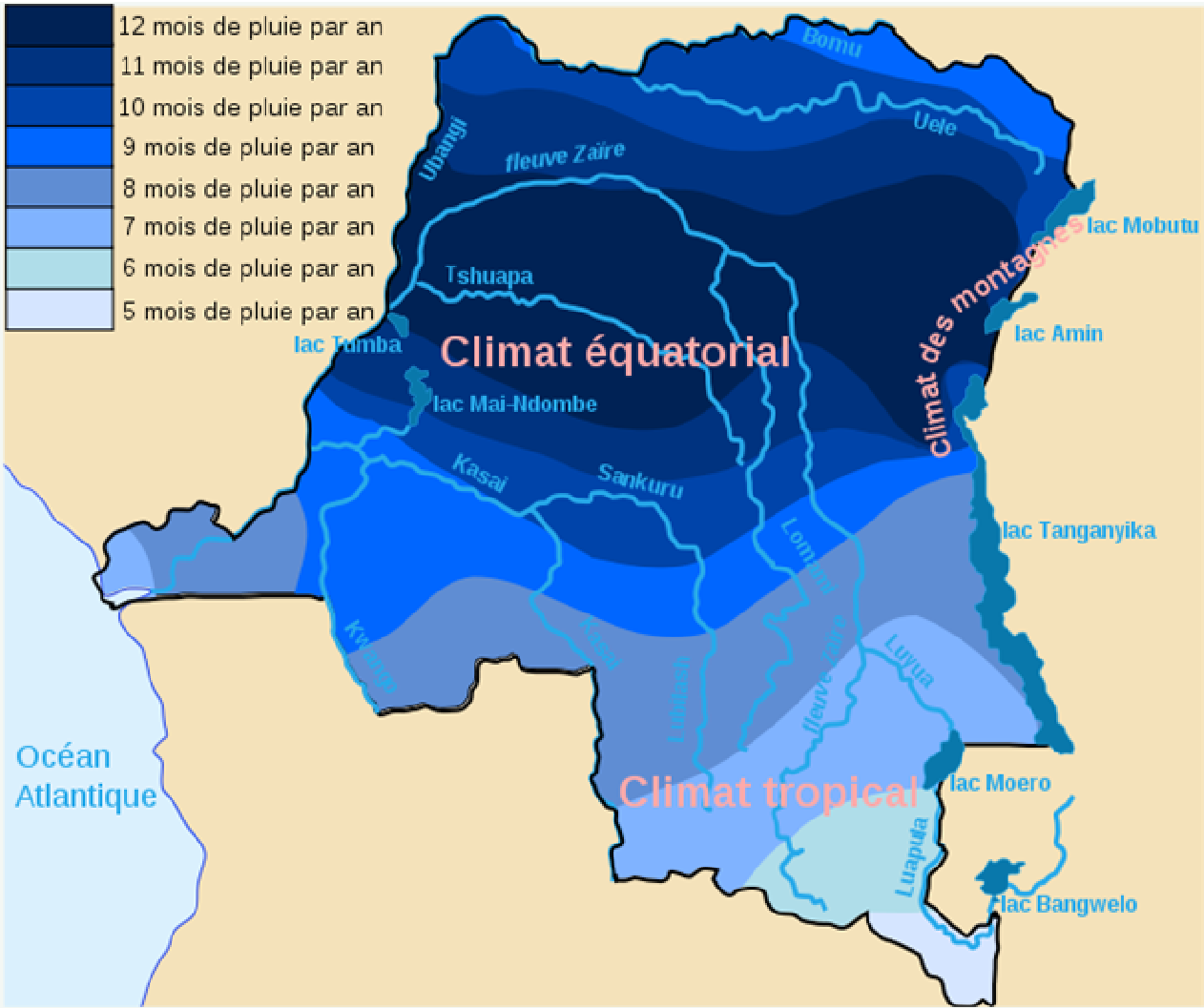


Figure 13 : Répartition des zones climatiques de la République Démocratique du Congo

Source : *version 1.2 ou plus récente publiée par la [Free Software Foundation](#)*

http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Pluie_rdc.svg

Eau et assainissement

L'abondance des ressources en eau en RDC contraste avec le faible accès à l'eau potable des populations. D'après les statistiques disponibles, environ 22 % de la population a accès à l'eau potable (12 % en milieu rural et 37 % en milieu urbain) (73). Cette disponibilité est inégalement répartie sur le territoire national. En milieu rural, 60 % des ouvrages d'eau existants ne sont plus opérationnels faute de maintenance, du fait de l'inefficacité de l'approche participative et des déficiences des réseaux de distribution en pièces de rechange.

La faible desserte en eau potable a pour principales causes l'inadaptation du cadre institutionnel actuel et l'insuffisance de ressources financières allouées au secteur. Les conflits armés ont aggravé cette situation déjà précaire par la destruction des installations existantes. A titre d'exemple, 18 centres de la REGIDESO (société nationale de distribution d'eaux potables) sur 94 ont été pillés et totalement détruits pendant les conflits armés à l'est du pays (77, 78).

En ce qui concerne l'assainissement, la situation des populations se caractérise essentiellement par l'incapacité des ménages à accéder à un système adéquat d'évacuation des déchets solides et liquides. Les enquêtes menées dans le cadre de l'élaboration des états généraux de la santé (1999) ont révélé que 17 % des ménages disposaient de latrines et 25% évacuaient adéquatement les ordures ménagères. En outre, l'enquête MICS II (Multiple Indicator Cluster Surveys II) indique que le taux d'évacuation hygiénique des eaux usées était de 9,1% en 2001 (73).

Les différentes enquêtes et les résultats d'études épidémiologiques indiquent que **plus de 80% des cas des maladies seraient liées aux dégradations de l'environnement.** Les détritiques sont jetés dans les rues, les besoins naturels satisfaits dans la nature, les jeunes non sensibilisés aux vertus de la propreté, les décharges publiques inexistantes, les ouvrages de drainage d'eau hors d'usage, les eaux usées coulant le long des artères, les systèmes d'élimination des déchets spéciaux (déchets biomédicaux, plastiques, ferrailles etc.) inexistantes et la pollution atmosphérique non contrôlée. Cette situation est due à la désorganisation du système au niveau du secteur tant public que privé. Les services publics en charge de l'assainissement n'ont pas les capacités humaines, matérielles et techniques requises pour un assainissement de proximité efficace et efficient. Compte tenu de ce qui précède, le gouvernement s'engage désormais à classer l'assainissement, facteur déterminant de développement durable, parmi les priorités de la stratégie.

Situation socio-économique et culturelle

La crise socio-économique que traverse la République Démocratique du Congo, depuis plus d'une vingtaine d'année, a engendré une baisse du revenu familial, ce qui agit négativement sur l'accessibilité de la population aux soins de santé de base.

Pourtant, le pays dispose, sur le plan économique, d'énormes potentialités humaines, agricoles, minières et énergétiques. La situation actuelle est marquée par la pauvreté accrue et le pays connaît une crise économique qui n'a cessé de s'accroître. La

proportion des personnes vivant en dessous du seuil de pauvreté (population vivant avec moins d'un dollar par jour) était de 80% en 2001 et de 70,68% en 2005. L'incidence globale de la pauvreté est de 71,34 %, l'une des plus élevées parmi les pays de l'Afrique centrale. Le PNB est de moins de 100 USD/an/habitant, ce qui place le pays parmi ceux à plus faible revenu au monde. Les taux de scolarisation sont continuellement en baisse. Pour les études primaires, le taux est passé de 94,1 % en 1978, à 74,1 % en 1988 et 50,1 % en 1998. Le tableau I donne un aperçu des principaux indicateurs socio-économiques de la République Démocratique du Congo (78).

Le développement du secteur rural a été sévèrement handicapé par le conflit armé qui a eu comme conséquences l'abandon des exploitations agricoles et le déplacement massif des populations du fait de l'insécurité permanente. Le secteur rural souffre également d'enclavement et doit faire face à la destruction des services sociaux de base, essentiellement à cause de l'absence des structures spécialisées de l'Etat. L'instabilité des populations et l'insécurité des investissements, conjugués aux contraintes d'approvisionnement, des difficultés de commercialisation des produits du fait de l'enclavement des zones de production, ne permettent pas au secteur agricole d'assurer un revenu décent aux populations rurales et une sécurité alimentaire suffisante au pays.

Tableau I : Principaux indicateurs socio-économiques de la RDC*Rapport du sommet de Johannesburg : Profil de la RDC, 199 p. et Sources : Anonyme (2002)*

Indicateurs	1990	2001
Proportion des personnes vivant avec moins de 1 \$ par jour	80% (1985)	-
Pourcentage des enfants de moins de 5 ans présentant une insuffisance pondérale	28%	34%
Taux net de scolarisation dans le primaire	56%	52%
Rapport filles/ garçons dans le primaire	74%	90%
Rapport filles/ garçons dans le secondaire	45%	54%
Taux de mortalité des enfants de moins de 5 ans	190‰ (1995)	213‰

Indicateurs	Niveau	Appréciation
Population	60 000 000	3^e en Afrique
Structure par tranche d'âge :		Population jeune
0 – 19 ans	59%	
20 – 59 ans	37%	
60 ans et plus	4%	
Populations déplacées	>2 Millions	Elevé
Croissance de la population	3,2%	Rapide par rapport aux services
Taux de fécondité	7 enfants par femme	Elevé
Taux de mortalité infantile	125 pour 1000	Très élevé
Mortalité maternelle	2/1 000 naissances	La plus élevée en Afrique
Population urbaine	40%	Faible
Croissance urbaine	7 à 8%	Très rapide
Indice du développement Humain	0,525(1986)	faible et en diminution

Adultes avec qualification :	18 %
Adultes avec emploi rémunéré :	26 %
Ménages dans des locaux sûrs (protection contre les intempéries) :	29 %
Ménages avec maisons protégées contre les insectes volants :	8 %
Ménages avec latrines hygiéniques :	17 %
Ménages évacuant correctement les ordures :	25 %
Accès aux médicaments essentiels :	37 %
Villages avec >75 % de la population participant à la promotion de leur santé	8 %
Taille moyenne des ménages (5,3 – 7,7) :	6 personnes
Accès à l'eau saine de façon régulière :	42 %
Accès à l'eau à moins de 15 minutes (UNICEF 1996) :	37 %
Accès aux services de santé à moins de 5 km :	26 %
Accès à la contraception moderne :	5 %

B. Situation sanitaire de la RDC

Le Congo a opté depuis 1981 pour un système de santé fondé sur la stratégie des soins de santé primaires telle que définie par l'OMS. Mais la mise en œuvre de cette stratégie a tout de suite été mise à mal par la crise économique des années 1982. La RDC comprend actuellement 11 provinces sanitaires subdivisées en 56 districts sanitaires (niveau intermédiaire, 65 districts prévus), eux-mêmes subdivisés en 515 districts de santé appelés « Zones de santé -ZS» (jusqu'en 2003 il y avait 306 zones de santé en RDC). Les zones de santé sont subdivisées en aires de santé (AS). Dans chaque aire de santé, les soins de santé sont dispensés au niveau des centres de santé et ou d'un hôpital de référence, l'objectif étant de dispenser l'entièreté des services de santé comprenant les services curatifs et de référence, les services de prévention et de promotion de la santé.

Le système sanitaire national est organisé en une pyramide à trois niveaux :

- **niveau central** : c'est le niveau normatif (c'est ici qu'on retrouve la Direction de la Lutte contre la Maladie) ;

- **niveau intermédiaire** (division provinciale de la santé et district sanitaire) : il apporte l'appui technique au développement des zones de santé ;

- **niveau périphérique** (zone de santé) : c'est l'unité opérationnelle de planification et de mise en œuvre de la politique nationale. C'est ici qu'on retrouve les centres de santé et les hôpitaux généraux.

La RDC compte actuellement 401 hôpitaux dont 176 appartenant à l'Etat, 179 aux organisations de différentes confessions religieuses, 46 aux entreprises des secteurs public et privé, 7725 autres établissements de soins comprennent les centres de santé de référence, les centres de santé, les maternités, les dispensaires et les polycliniques appartenant également à l'Etat, aux entreprises, aux organisations des différentes confessions religieuses, aux ONG et aux personnes privées physiques et morales.

Les structures sanitaires étatiques fonctionnent sur la base du recouvrement des coûts. Cette situation limite fortement l'accès aux soins de santé des populations (autour de 20 % en moyenne). Ce déficit d'accès aux services sanitaires est compensé par une forte utilisation d'autres systèmes de soins alternatifs comme les guérisseurs, les féticheurs, les maisons de prières, et le recours systématique à l'automédication.

Depuis les années du blocus international du pays (début des années 1990), le secteur sanitaire est très dépendant des financements et des interventions extérieures par l'intermédiaire des ONG et des agences des Nations Unies. **Dans l'ensemble des provinces de la RDC, le système de santé bénéficie depuis plusieurs années d'un appui de plusieurs ONG internationales.** Parmi les plus actives, on compte Médecins Sans Frontières (Belgique, France, Suisse, Hollande, ...), Médecins Du Monde (France, Belgique), IRC (International Red Cross), Merlin, Memisa Belgique, CRS (Catholique Relief Service), Le BDOM (le Bureau Diocésain des Œuvres Médicales au Congo), ...

Tous ces intervenants ont permis de suppléer un système national en difficulté depuis le début des années 1990 et de maintenir un certain niveau de soins aux populations, même là où les conditions de sécurité étaient les plus difficiles. Les apports

extérieurs ont permis de poursuivre les activités de surveillance des maladies à potentiel épidémique et de répondre aux flambées épidémiques (dans la limite du possible) dans un environnement difficilement pénétrable et sur fond d'insécurité.

La lutte contre la maladie en RDC

La lutte contre les épidémies est organisée et coordonnée par le Ministère de la Santé de la RDC au sein de la Direction nationale de Lutte contre les Maladies (DLM). La DLM est responsable de toute la politique de lutte contre les maladies en RDC. Elle définit les normes et les stratégies et oriente les politiques de lutte. La DLM est organisée en plusieurs divisions (les grandes endémies, les maladies carencielles et dégénératives, la surveillance épidémiologique et bientôt dans le cadre d'une nouvelle réforme, la division de la recherche opérationnelle) (79, 80). En ce qui concerne la surveillance des maladies, il existe au sein de la division de la surveillance, un Bureau de surveillance épidémiologique, chargé de tout ce qui est suivi des tendances des maladies sous surveillance et de la coordination de l'organisation de la riposte. Cette dernière activité est gérée par la Cellule de Surveillance épidémiologique (elle-même étant une entité du Bureau de surveillance).

Au sein du bureau de surveillance épidémiologique, la priorité est donnée aux maladies à potentiel épidémique élevé. La liste de ces maladies se modifie de façon régulière en fonction du profil épidémiologique du pays (les épidémies constatées sur le terrain), de la région (les épidémies rapportées dans les pays voisins et susceptibles de diffuser en RDC), puis, enfin, en fonction du contexte et des recommandations internationales. C'est en 1997 à Kigali (Rwanda), que les pays des Grands Lacs ont déterminé la liste des maladies à potentiel épidémique à surveiller. Il s'agit de : paludisme, méningite, rougeole, diarrhées sanglantes, fièvres hémorragiques, fièvre Jaune, typhus, tétanos néonatal, paralysie flasque, peste, monkey pox et choléra (80).

En 1998, la RDC a adopté la stratégie de surveillance intégrée des maladies proposée par l'Organisation Mondiale de la Santé (résolution AFR/RC48/R2). Le début de la mise en œuvre de cette surveillance intégrée a commencé depuis 2000. La RDC a fait une première adaptation de ce plan sous forme d'un guide de surveillance en 2003, une deuxième adaptation a été validée tout récemment en avril 2009.

Le système de surveillance épidémiologique mis en place en RDC a pour objectifs :

- **détecter précocement les épisodes épidémiques des maladies à potentiel épidémique pour une riposte rapide ;**
- **évaluer les mesures préventives de lutte contre les maladies, notamment l'impact du PEV ;**
- **suivre les tendances des endémies et problèmes de santé prioritaires ; et évaluer les programmes de lutte ;**
- **faire des recommandations pour apporter des ajustements en édictant des normes et en veillant à leur respect.**

La RDC surveille 33 maladies réparties en deux catégories :

- les maladies à potentiel épidémique :

- paludisme, choléra, méningite, rougeole, diarrhées sanglantes, fièvres hémorragiques, peste, monkey-pox, tétanos néonatal, paralysie flasque aiguë, fièvre jaune, grippe (H2N2) et typhus.

- tout récemment, sur recommandation de l'OMS et avec l'appui du CDC, une surveillance des cas (éventuels) de grippe aviaire vient d'être mise en place.

- les endémies et problèmes de santé prioritaires :

- avitaminose A, carence en fer, carie dentaire, décès maternel, diabète, diarrhées simples, épilepsie, fièvre typhoïde, hypertension artérielle, infections respiratoires aiguës, lèpre, malnutrition protéino-énergétique, maladies sexuellement transmissibles, noma, onchocercose, SIDA, schistosomiase, troubles dus à la carence en iode, trypanosomiase humaine africaine, tuberculose (80).

A côté de la DLM, plusieurs programmes verticaux (dépendant structurellement de la DLM) sont chargés de la mise en oeuvre de quelques projets spécifiques de lutte contre **certaines maladies avec des objectifs spécifiques** à atteindre (éradication ou élimination). C'est ainsi qu'on retrouve : **le programme d'éradication de la poliomyélite, le programme d'élimination de la lèpre et le programme d'élimination de l'onchocercose.**

Certains programmes n'ont qu'un objectif de contrôle, il s'agit : du programme de lutte contre la peste (bureau basé à Bunia, c'est le seul programme dont la coordination nationale est géographiquement placée au niveau de la province), le programme élargi de vaccination (PEV), le programme de lutte contre le Sida, le programme de Prise en charge intégré des maladies de l'enfance (PCIME- géré directement par l'OMS).

Le fonctionnement du système de surveillance épidémiologique

Pour toute la période avant 1998, il n'existe que peu d'informations sur l'organisation de la lutte contre la maladie en RDC. Il n'y a pratiquement pas d'archives (format électronique ou papier). En effet, il est important de rappeler ici que le pays en général, et Kinshasa la capitale en particulier, ont été victimes entre 1991 et 1993, de graves événements de vandalisme organisés (appelés les pillages de Kinshasa). Durant ces années de « folie collective organisée », tout a été détruit ou pillé dans les principales villes du pays. Le bureau qui abritait en ce temps la direction de la lutte contre la maladie n'avait évidemment pas échappé à ces actes de vandalisme.

C'est ainsi que sur toute cette période d'avant 1999, dans le meilleur des cas, il n'est possible de retrouver que des informations conservées au niveau des locaux des partenaires internationaux ou de certains programmes nationaux ayant des collaborations internationales (exemple : données sur la trypanosomiase humaine africaine, sur le PEV ou sur l'onchocercose). En dehors de ces données, quelques informations sur les

épidémies survenues avant 1999 peuvent être retrouvées sur des rapports d'investigations de certaines flambées épidémiques comme celle de la poliomyélite de 1996 à Mbuji Mayi (près de 1000 cas), de la fièvre hémorragique de type Ebola de Kikwit en 1995 et de choléra à Goma en 1994.

Les premières grandes initiatives pour une meilleure organisation de la réponse aux épidémies en RDC, remontent à 1995, avec la création, par Médecins Sans Frontières Belgique, du Pool d'Urgence Congo (PUC) (81). C'est à la demande du PUC que l'ONG Epicentre (créée par MSF pour répondre aux questions nécessitant une approche de recherche opérationnelle et pour apporter une expertise en épidémiologie d'investigation) a commencé à intervenir sur les épidémies en RDC à partir de 1996. A partir de 1998, Epicentre a initié des missions exploratoires en RDC dans le but d'y installer un bureau permanent et ainsi de conduire la surveillance épidémiologique et la riposte aux épidémies.

De 1999 à 2003, soit durant cinq ans, la Direction de la Lutte contre la Maladie (4^{ème} direction) a bénéficié d'un appui technique et logistique d'Epicentre. Un épidémiologiste expérimenté d'Epicentre était affecté à Kinshasa et accompagnait au quotidien la DLM dans les différentes étapes de la remise en état d'un système d'alerte précoce et de riposte aux épidémies. Ce projet a été financé par l'Union Européenne puis par la Coopération Française (sans oublier des fonds propres d'Epicentre sur certaines périodes et sur certaines activités). Grâce à ce projet, la Direction de la Lutte contre la Maladie a pu investiguer et documenter plusieurs épidémies à travers la RDC. Des bases de données sur les cas et décès dus aux différentes maladies, dont le choléra, ont ainsi été mises en place à la DLM (version électronique et archives papier), au niveau des provinces (version électronique et archives papier), ainsi qu'au niveau des zones de santé (version papier).

Outre ces investigations et la mise en place d'un système de surveillance épidémiologique sentinelle, le projet EPICENTRE/ DLM a permis de mettre en place au sein de la DLM une Cellule Nationale de Surveillance Epidémiologique (CNSE). Cette structure a été rapidement reproduite aux autres échelons de la surveillance épidémiologique du pays (province, district, zone de santé). Au sein de cette CNSE et autour de la DLM se réunit depuis l'an 2000 l'ensemble des acteurs et des programmes intervenants directement ou indirectement dans la lutte contre les maladies en RDC. La réunion hebdomadaire de la CNSE (actuellement, elle se tient tous les vendredis au niveau national à Kinshasa dans les locaux de la DLM) est une occasion d'échanges d'informations épidémiologiques entre les différents acteurs. Cela permet à la DLM d'actualiser ses bases de données sur des phénomènes épidémiques qu'elle n'a pu couvrir.

Le projet Epicentre/Union Européenne/DLM a pris fin en février 2003. Puis, entre mars 2003 et septembre 2005, le projet Epicentre/DLM a été remplacé par deux autres projets d'appui aux activités de surveillance épidémiologique et de riposte aux épidémies, projets financés par la Coopération française et l'USAID (l'Agence américaine de Coopération au Développement). La période de début des activités de l'ONG Epicentre en RDC (1998), a coïncidé aussi avec le lancement par l'OMS-Afro de l'initiative de surveillance intégrée des maladies et de renforcement de la riposte aux épidémies. La mise en œuvre effective de cette initiative avec les premières aides logistiques et techniques de l'OMS a commencé en 2000. Cet appui de l'OMS était orienté sur l'organisation

d'ateliers de formation des cadres, la mise à disposition du Ministère de la Santé publique d'équipes informatiques et de véhicules (automobiles, motos, vélos, moteurs hors-bord), de fournitures et de consommables de bureautique.

A côté de ces systèmes de surveillance épidémiologique, on retrouve d'autres réseaux de surveillance épidémiologique mis en place par l'Organisation Mondiale de la Santé ou les ONG œuvrant sur le terrain en RDC. Le réseau de surveillance des cas de paralysie flasque aiguë (PFA), dans le cadre du programme d'éradication de la poliomyélite, est doté d'une logistique très puissante et repose sur un important réseau d'acteurs de terrain. Ce réseau apporte une grande compensation aux défaillances d'appui logistique du système national de surveillance épidémiologique.

Les ONG internationales médicales travaillant sur les épidémies en RDC (comme Médecins Sans Frontières, Médecins du Monde, Merlin, Memisa Belgique, Coopi, ...) constituent, directement ou indirectement, des appuis au système national de surveillance épidémiologique et de riposte aux épidémies. Ces ONG interviennent souvent directement sur le terrain aux côtés du personnel des zones de santé. Ainsi, malgré la grande taille du pays et les difficultés de communication, les situations épidémiques même d'importance relative font presque toujours l'objet d'investigations et les rapports parviennent, même tardivement, au niveau de la DLM.

Le cadre national (formel) d'exécution des activités de surveillance épidémiologique

Les activités de surveillance épidémiologique sont conduites à plusieurs échelons, depuis la communauté jusqu'au niveau central (DLM) (figure 14).

La communauté est appelée à utiliser des versions simplifiées des définitions (appelées aussi définitions de cas communautaires) pour identifier les phénomènes morbides et les notifier au centre de santé le plus proche ou au bureau central de la zone de santé (ou district sanitaire). Ce rôle de la communauté est d'autant plus important que très peu de personnes (moins de 20%) ont accès aux systèmes de santé, et ceci pour diverses raisons (inaccessibilité économique, géographique, culturelle...).

Les établissements des soins (Centres de Santé, Centres de Santé de Référence, Hôpital Général de Référence) sont invités à utiliser les définitions des cas plus élaborées pour détecter, identifier et dénombrer les cas correspondant aux maladies sous surveillance. Ces établissements de soins rapportent chaque semaine le cumul des cas et décès de la semaine écoulée. Ces données sont rapportées au Bureau Central de la Zone de Santé (BCZS).

Le bureau central de la zone de santé agrège les données et les transmet à son tour à l'Inspection Médicale de District/ Provinciale. Les BCZS notifient ces données aux échelons supérieurs. Les inspections de District / de la Province appuient les zones de santé dans la mise en œuvre de cette mission de surveillance.

L'inspection médicale de district et l'inspection médicale de provinciale (IPS) envoient à leur tour les données agrégées de chaque zone de santé à la Direction de la lutte contre la Maladie (DLM). C'est le bureau chargé de la lutte contre la maladie (ou 4^{ème} Bureau) de l'IPS, qui se charge de ce travail. Le médecin du 4^{ème} bureau est chargé de

la gestion des bases de données ainsi que de la lutte contre la maladie au niveau provincial. Il est assisté par un gestionnaire de données provincial et d'un infirmier superviseur.

Les analyses biologiques devraient être réalisées pour toute suspicion d'un phénomène épidémique. Le laboratoire de l'INRB (Institut National de recherche biomédical), ainsi que d'autres laboratoires provinciaux tels que AMI KIVU (Goma), le laboratoire provincial de Lubumbashi, le laboratoire de Katana (Sud-Kivu) contribuent à la confirmation du diagnostic des maladies à potentiel épidémiques. Un projet de mise en réseau des laboratoires en RDC est actuellement en cours de mise en oeuvre en RDC.

La Direction de la lutte contre la Maladie (DLM) est le niveau central du système de surveillance et d'organisation de la riposte aux épidémies. La DLM est chargée d'élaborer des politiques, des directives et normes en matière de surveillance épidémiologique. Elle apporte aussi un appui technique (et logistique par du lobbying) aux niveaux inférieurs. Une base de données nationale y est gérée grâce à un gestionnaire de données assisté de trois autres gestionnaires. Cette base de données est placée sous la responsabilité directe du Directeur de la DLM.

A chaque niveau du circuit d'information, les données épidémiologiques sont (en principe) traitées, analysées et interprétées pour la prise de décisions opérationnelles à caractère immédiat. Cette analyse et cette prise de décision sont effectuées avant même la transmission des données aux échelons supérieurs. Le rythme de notification est hebdomadaire pour les maladies à potentiel épidémique élevé, dont le choléra. C'est dans ce cadre que les données épidémiologiques concernant les cas suspects de choléra sont produites, traitées, utilisées et conservées en RDC depuis fin 1999.

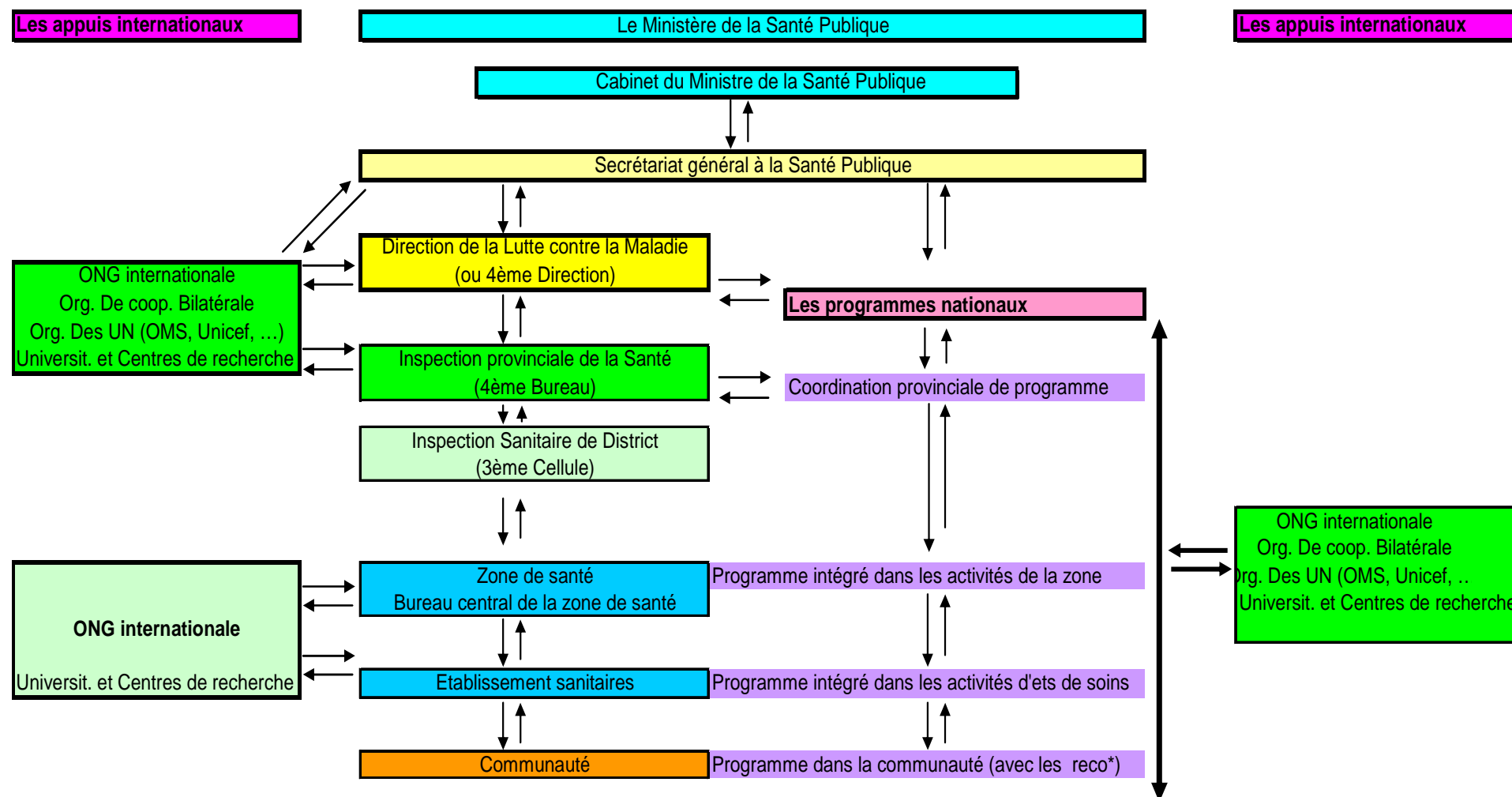


Figure 14 : Schéma du circuit d'échange des informations épidémiologiques en RDC.

C. La problématique de la gestion des épidémies de choléra en RDC jusqu'en 2005

Les cas de choléra sont traités dans des Centres de Traitement de choléra (CTC) ou des Unités de Traitement de choléra (UTC) (quand il y a peu de cas). Lorsque les centres ou les unités de traitement sont situés à plus de 10 km d'un lieu de provenance de plusieurs patients où il n'est pas possible pour diverses raisons d'installer un CTC ou un UTC (insécurité, conditions géographiques trop précaires- zones lacustres très marécageuses, ...), les équipes d'intervention procèdent à l'installation des Points de Réhydratation gérés par des agents locaux de la Croix Rouge. Les CTC sont souvent construits sur la base des standards MSF, validés par l'OMS. (8, 9). Les CTC sont situés soit à côté d'un hôpital général, soit à côté d'un centre de santé (Figure 15).



Figure 15 : Un Centre de traitement de choléra en zone urbaine.

En zone urbaine, les CTC sont souvent situés à côté d'un hôpital général de référence (HGR), comme le centre de la figure 15 dans un HGR dans la ville de Lubumbashi au Katanga. Ces CTC sont situés soit :

- dans un bâtiment hospitalier réservé à l'isolement des cas de choléra,
- dans des hangars temporaires construits en « *plastic sheeting* » (forme de grande bâche) fournis par l'UNICEF ou par Médecins Sans Frontières.

Les hommes, les femmes et les enfants suspects de choléra y sont isolés et traités. Une partie du personnel de l'hôpital général y est affecté durant la période de l'épidémie. Ce personnel reçoit un complément de salaire en guise de prime pour le travail accompli

dans le CTC, souvent en plus de leur horaire de travail dans les services hospitaliers de l'hôpital qui sont maintenus.

En général, les traitements dans les CTC sont gratuits et cette information est continuellement diffusée au sein de la population pour encourager les patients à se rendre au CTC dès les premiers signes de diarrhée. Le traitement est basé sur la réhydratation à base de sels de réhydratation orale (SRO) ou de perfusion avec du soluté de Ringer lactate pour des cas de déshydratation modérée ou sévère. L'usage des antibiotiques était très courant jusqu'en 2003. Après les grandes épidémies survenues au Katanga et au Kasai Oriental surtout (en 2002 et 2003), il a été observé une diffusion de la résistance aux antibiotiques du *Vibrio cholerae*, d'où la proscription officielle des antibiotiques dans le traitement des patients admis dans les CTC. Cependant, malgré cette mesure et malgré le retrait des antibiotiques des kits choléra de l'OMS et de MSF, des antibiotiques ont continué à être prescrit, de façon sporadique, aux patients suspects de choléra sur le terrain.

La configuration des CTC est telle que les cas qui y sont admis entrent par une salle de tri où les cas peu symptomatiques (quelques vomissements de début récent, moins de deux selles diarrhéiques depuis l'arrivée au CTC, pas de signes de déshydratation visibles) sont séparés des cas plus évocateurs. Les informations concernant les cas suspects entrant au CTC sont alors encodées dans un registre. Chaque patient pris en charge est suivi à partir d'un dossier standard qui permet de surveiller l'évolution des principaux signes vitaux et de la déshydratation et d'adapter le rythme de la réhydratation. Tous les jours, l'infirmier responsable des soins au CTC fait un rapport sur l'état de la prise en charge au CTC. Dans ce rapport, il note le nombre de patients admis dans la journée, le nombre de décès, le stock d'intrants présents (SRO, Ringer lactate, cathéter, perfuseur). A la fin de la semaine, le rapport sur le nombre de cas et de décès (s'il y en a eu) admis au CTC (ou des UTC) durant la semaine (du lundi au dimanche) sont compilés et envoyés au bureau de la zone de santé.

Dans une zone de santé, le nombre de CTC varie en fonction de la dispersion des principaux points de provenance des cas, de l'importance du nombre de cas rapportés chaque semaine, de la disponibilité des ressources logistiques et des ressources humaines. Avec le temps, dans les zones de santé où les épidémies de choléra sont récurrentes à l'est de la RDC, les CTC ne sont plus des hangars en « plastic sheeting », mais deviennent de véritables bâtiments hospitaliers, ouverts en permanence et recevant tous les cas de diarrhée et vomissements avec déshydratation chez des patients de tous âges suspects de choléra (Figure 16).



A



B

Figure 16 : Centre de traitement de choléra en zone rurale et lacustre

- (A) Un CTC temporaire en zone rurale,
- (B) Un CTC permanent à Uvira en zone lacustre.

Dans les zones lacustres, les CTC sont construits en structures durables à cause de la permanence des cas de choléra tout au long de l'année.

La détection des cas de choléra est basée sur la définition clinique de l'OMS

En période non épidémique, il s'agit « d'un malade âgé de plus de cinq ans souffrant d'un épisode de diarrhée aqueuse (généralement avec vomissement) provoquant une déshydratation sévère. En période épidémique, d'un malade âgé de plus de deux ans souffrant d'une diarrhée aqueuse aiguë dans une région où sévit une épidémie de choléra ». (9).

Chaque flambée épidémique suspectée dans une zone de santé (sur la base de la définition clinique) doit faire l'objet d'une confirmation biologique sur une dizaine d'échantillons de selles prélevés sur les cas suspects. Lors des flambées épidémiques, les confirmations biologiques ne sont obligatoires que pour les premiers cas dans un espace géographique donné. En dehors de la surveillance passive des cas, chaque flambée épidémique doit donner lieu à une investigation et les informations récoltées sont conservées dans des bases de données. Ainsi on peut retrouver des bases de données au niveau des zones de santé (souvent format papier), au niveau des provinces (format papier et ordinateur) et au niveau central (à la direction de lutte contre les maladies).

La multiplication des intervenants est telle que les flambées épidémiques de grande ou de moyenne ampleur ne passent quasiment jamais inaperçues. Certes, il est fréquent que des équipes d'intervention arrivent en retard sur les lieux, mais une reconstitution rétrospective de la situation épidémiologique est toujours réalisée. Ainsi, depuis 1999, de très nombreuses épidémies de choléra ont été détectées par le système de santé, essentiellement dans les provinces de l'Est à savoir: le Katanga, le Nord-Kivu, le Sud-Kivu, le Maniema, la Province Orientale, le Kasai Oriental, ainsi que, plus rarement, dans les provinces du Bandundu et du Bas-Congo.

Les investigations qui ont été menées ont permis d'en apprécier l'ampleur et de mettre en place des interventions dans les zones où ont été rapportés les cas. Très souvent, les équipes d'intervention étaient amenées à revenir plusieurs fois sur une même zone, pour faire face à des flambées épidémiques à répétition. Ces interventions contre le choléra étaient toutes focalisées sur les périodes de flambées épidémiques, et pratiquement aucune attention n'était accordée à ce qui se passait en période inter-épidémique.

Synthèse des faiblesses dans la gestion du choléra en RDC (jusqu'en 2005)

Depuis 1974, date de notification des premiers cas de choléra en RDC, de nombreuses flambées de choléra ont été rapportées et l'est du pays s'est mis à rapporter des cas de façon permanente. Utilisant soit des financements propres, soit, plus souvent, des financements institutionnels (Union Européenne, Coopération belge, Coopération française, Coopération américaine (USAID), Banque Mondiale, ...), les ONG internationales et les agences des Nations Unies, aident le gouvernement congolais à faire face chaque année aux épidémies de choléra.

Chaque intervention finit par mobiliser des financements non négligeables (quelques dizaines de milliers d'Euros par intervention), nécessite l'appui de plusieurs équipes d'expatriés (parfois près d'une quinzaine sur une seule flambée en un lieu donné) et implique plusieurs dizaines de nationaux pour la gestion de toute la chaîne de prise en charge de l'épidémie (de la sensibilisation à la gestion des centres de traitement de choléra -CTC). A deux reprises, les programmes de riposte aux épidémies de choléra ont

débouché sur une élimination durable du choléra (Kinshasa, 2001, Mbuji Mayi, 2003). Dans d'autres cas, cette élimination n'a été que transitoire du fait de la réintroduction du pathogène quelques années après (Malemba Nkulu, Katanga, 2002-2005, Mutwanga, Katanga, 2006-2008). En dehors de ces succès dont le caractère reste anecdotique, les 30 ans de lutte contre le choléra en RDC se caractérisent par une absence d'une stratégie formalisée de lutte contre le choléra.

Il n'existe pas de politique formalisée et structurée de lutte contre le choléra ; la stratégie de lutte n'est pas définie et aucun objectif à long terme n'est formulé pour la lutte contre le choléra dans ce vaste pays. L'impression qui se dégage de ces trente années écoulées est que la lutte s'est plus focalisée sur les flambées épidémiques que sur la maladie elle-même. Le manque de connaissance approfondie, reposant sur des bases solides de l'épidémiologie du choléra, a comme conséquence la propagation, même au niveau des acteurs opérationnels, d'idées reçues telles que « *il y a toujours du choléra à l'est de la RDC* », « *le choléra est dû à la pauvreté* », « *tant qu'il y aura de la pauvreté, il y aura du choléra* », « *les catastrophes naturelles et humaines entraînent le choléra* », « *bientôt la saison des pluies, bientôt le choléra* », « *le choléra, c'est l'affaire des ONG humanitaires* ».

Malgré le fait que le choléra en RDC soit une maladie relativement récente, la plupart des acteurs opérationnels nationaux et internationaux, ont une attitude fataliste considérant que « *rien ne peut être fait en dehors des simples ripostes aux flambées épidémiques* », les ONG humanitaires internationales et les agences de financement qui leur apportent des moyens d'intervention ne prennent en compte le choléra que lorsqu'il y a de grandes flambées épidémiques. Il a été ainsi implicitement admis le fait qu'il soit « *normal* » d'avoir en permanence des cas de choléra à l'est de la RDC.

Pour illustration, des seuils épidémiques de choléra et des seuils de déclenchement des mécanismes de riposte ont été mis en place par certains bailleurs et comités locaux ou provinciaux de lutte contre les épidémies. L'essentiel de la lutte est finalement orienté sur le traitement des patients par la réhydratation orale ou parentérale. Les actions au niveau communautaire, et particulièrement les actions en rapport avec l'amélioration des apports en eau potable aux populations, sont rares. En période inter-épidémique, il n'y a pas de prise en compte des causes et des facteurs de récurrence des épidémies dans les mêmes espaces géographiques alors même que ces épidémies surviennent souvent aux mêmes périodes.

Cette approche routinière du choléra explique l'absence d'initiative de recherche visant à comprendre l'articulation globale de ces épidémies de choléra qui se succèdent depuis 1974. Elles sont considérées et gérées comme des phénomènes isolés. Cette situation qui est vraie pour la RDC, l'est aussi pour l'ensemble de l'Afrique. Finalement il n'existe aucun programme de financement permanent alloué à la lutte contre cette maladie. Même pour la réponse aux flambées épidémiques, chaque opération de riposte doit faire l'objet de nombreuses tractations entre les équipes locales et les agences d'aide internationales, chaque partie ayant ses propres critères pour déclencher un plan de riposte.

Pendant ce temps, l'épidémie poursuit tranquillement son cours. Lorsque les équipes d'intervention arrivent sur le terrain, les épidémies sont souvent au pic ou en train

d'amorcer leur décroissance. C'est ce constat d'échec de la lutte contre le choléra en RDC devant la résurgence des flambées épidémiques qui apparaissent de plus en plus rapprochées qui a motivé la réalisation de ce travail.

HYPOTHESE ET OBJECTIFS DU TRAVAIL

L'hypothèse de départ était qu'une meilleure connaissance de la dynamique des épidémies de choléra en RDC et plus précisément à l'est de ce pays permettrait de mettre en évidence des aires géographiques, des périodes de temps et des catégories de population particulièrement touchées et/ou jouant un rôle important dans le déclenchement et l'expansion des flambées épidémiques.

Les objectifs spécifiques étaient de :

- **décrire la répartition spatiale des épidémies** et identifier les facteurs qui sous-tendent l'hétérogénéité dans la distribution des cas,
- **établir une cartographie des espaces à risque de choléra en RDC en fonction de leur degré de vulnérabilité ;**
- **étudier l'évolution temporelle des épidémies** et rechercher l'existence d'une éventuelle tendance saisonnière ;
- **identifier les populations les plus touchées** et comprendre le fonctionnement du choléra parmi elles ;
- **identifier les incohérences et les faiblesses des stratégies de lutte actuelles afin de proposer des pistes d'ajustement.**

Au-delà de ces objectifs qui constituent l'enjeu scientifique de cette recherche, ce travail comporte aussi un enjeu de santé publique (non seulement pour la RDC mais aussi pour d'autres pays d'Afrique concernés par cette maladie) et des enjeux institutionnels.

Sur le plan de la santé publique, en RDC, les résultats de ce travail devraient permettre de convaincre sur la nécessité de concentrer les efforts de lutte contre le choléra sur les activités visant un contrôle durable de la maladie. Ceci devrait passer par la proposition d'une nouvelle approche opérationnelle validée par le Ministère de la Santé publique. La réalisation de cette thèse par un acteur investi depuis longtemps dans la lutte contre le choléra en RDC et l'implication dès le départ de ce travail des autorités congolaises ont facilité la transformation des conclusions scientifiques en une stratégie nationale de santé publique validée par le Ministère de la Santé.

Au-delà de la RDC, l'idée est d'initier un vaste plan d'étude de l'épidémiologie et de relancer ainsi la lutte contre le choléra en Afrique. En travaillant en RDC, nous voulons montrer que, si cela peut se faire dans un pays aussi vaste et difficile, c'est que cela peut aussi l'être dans d'autres pays, eux aussi fortement touchés par le choléra comme la Tanzanie, le Zimbabwe, le Mozambique, le Malawi, la Zambie et l'Uganda. L'idée finale étant d'influencer les autres pays touchés par cette maladie, en mettant à leur disposition les connaissances et l'expertise nécessaires pour réorienter les approches stratégiques des programmes de lutte contre le choléra en Afrique subsaharienne.

Enfin, sur le plan institutionnel, ce travail vise à démontrer qu'une étroite collaboration entre différentes institutions n'ayant pas l'habitude de travailler ensemble est possible et peut aboutir à des résultats ayant un grand impact sociétal.

Les institutions ayant collaboré dans ce projet de recherche sont en effet très diverses : le Ministère de la Santé Publique (Direction de la Lutte contre la Maladie, l'Institut de Recherche Biomédicale), des laboratoires de recherche universitaires : Université de Kinshasa, Université de Franche-Comté à travers le laboratoire Chrono-Environnement à Besançon, Université Louis Pasteur de Strasbourg, laboratoire de limnologie du Musée Royal d'Afrique centrale de Tervuren, Belgique.

MATERIEL ET METHODES

I. Types de données et organisation du recueil

Les données globales en rapport avec les huit pays de la région des Grands Lacs étudiés

Les données globales en rapport avec les huit pays de la région des Grands Lacs étudiés concernent :

- les données sur les cas et décès de choléra : ces données ont été obtenues dans les bases de données de l'Organisation Mondiale de la Santé. Il s'agit de cas et décès par choléra par année et par pays notifiés par les gouvernements et rapportés dans les Weekly Epidemiological Records de 1970 à 2007 (6).

- les données sur les années El Niño : le repérage des années El Niño et la Niña s'est fait à partir des informations du site <http://ggweather.com/enso/years.htm> (82).

Les données en rapport avec la RDC

Les données sur les cas et décès dus au choléra

La collecte des données épidémiologiques sur le choléra en RDC repose sur l'organisation du système national de soins de santé primaire et des différents systèmes de surveillance épidémiologique existant dans ce pays

Les cas et décès dus au choléra ont été collectés pour différents niveaux géographiques (provinces, zones de santé et aires de santé), par semaine et par années de 2000 à 2008. Seules les provinces du Katanga, du Nord-Kivu, du Sud-Kivu et du Kasai Oriental ont été concernées par la recherche de données complètes à l'échelle des zones et des aires de santé. Ces provinces ont été retenues parce qu'elles représentent les sites des principales flambées épidémiques rapportées en RDC entre 2000 et 2008 (65-68, 83-86).

Les informations en rapport avec les cas et décès des patients suspects de choléra sont issues des registres des Centres de Traitement de choléra (CTC). Ces CTC (permanents à l'est de la RDC) sont cogérés par les bureaux centraux des zones de santé, les hôpitaux généraux de référence ou les centres de santé de référence et les ONG humanitaires médicales internationales. Ces ONG reçoivent l'appui du programme d'aide d'urgence de l'Union Européenne (ECHO), de l'OMS et de l'UNICEF.

La prise en charge des patients dans ces CTC est gratuite. Ce principe est largement diffusé auprès des acteurs de santé et connu de la communauté. Dans les registres tenus au niveau de ces CTC il est possible de retrouver les variables suivantes à propos de chaque patient suspect qui y est admis : date d'entrée, nom et prénom, âge, sexe, adresse, degré de déshydratation à l'entrée, nombre de flacons de Ringer Lactate reçus, nombre de solutés de réhydratation orale reçus, évolution, date de sortie (Figure 17). Dans chaque CTC, ces données individuelles sont ensuite agrégées chaque semaine en nombre total de cas et de décès répartis selon les aires de santé de provenance. Ces données sont ensuite envoyées au niveau des bureaux centraux des zones de santé pour y

être à nouveau agrégées avant d'être transmises aux bureaux chargés de la gestion des maladies (4^{èmes} bureaux des inspections provinciales de la santé)

DATE	N°	Noms et PostNom	Age	Sexe	Adresse	Aire de Sante	Quartier de provenance	Sorties	SRO	RINGER
DATE	TYPES									
31 janv 02	208	KAPINGA PASCALINE	45ans	F	KITOMBO	KIBAKO	A	19 janv 02	G	3L 1L
31 janv 02	209	SOMBO PHILEMON	47ans	M	KIBA	KIBAKO	B	23 janv 02	G	5L 2L
31 janv 02	210	KIBOKHE JOEL	9ans	F	GIE	LUP II	B	23 janv 02	G	4L 2L
31 janv 02	211	NGOY - MABALA	4ans	M	GIE	LUP I	B	23 janv 02	G	
31 janv 02	212	KUHA KISIMBA	4ans	F	GIE	LUP I	B	23 janv 02	G	4L 1L
31 janv 02	213	KILUFYA TWITE	22ans	F	LAC-MULANDI	MULANDI	C	07 Fev 02	G	32L 43L
16 fev 02		Synthèse du jour								
		Tot Malades en salle	14		Sorties du jour	2		Malades en salle	12	
16 fev 02	214	NGOYE KUKONERA	9ans	M	GIE	LUP II	A	23 fev 02	G	3L 1L
16 fev 02	215	BANZA CHRISTOPHE	47ans	M	MULANDI	MULANDI	B	06 Fev 02	G	14L 27L
16 fev 02	216	KAYOKBAWA KUEHA	8ans	F	GIE	LUP I	B	33 fev 02	G	6L 5L
23 fev 02		Synthèse du jour								
		Tot Malades en salle	15		Sorties du jour	8		Malades en salle	7	
23 fev 02	217	NGOY BARTHOLOME	11ans	M	GIE	LUP I	B	43 fev 02	G	8L 4L
	218	KYCHBE MARCEL	11ans	M	KAPULWA	LUP I	B	03 fev 02	G	14L 16L
34 fev 02		Synthèse du jour								
		Tot Malades en salle	9		Sorties du jour	2		Malades en salle	7	

A

NOVEMBRE 2007

UVIRA

ZONE DE SANTE D' UVIRA

FEUILLE DE SUIVI JOURNALIER DES CAS DE CHOLERA DANS LE CTC DE.....

MOIS DE.....N.O.V.E.M.B.R.E..... ANNEE 2007.....

			J O U R S D U M O I S																																
N°	Aire de Santé	Quartiers de provenance	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
1	Makobola		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	Kigongo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	Kabimba		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	Kalundu Cath		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	Kalundu Etat		1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	Kalundu Capes		1	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	Kabindula		2	3	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	Kimanga		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	St-Paul		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	Mulongwe		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	Mitumba		0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	Kasenga Capes		0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	Kasenga CR		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	Kiyaya		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	Kavimvira		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	Kilomoni		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	Kirungu		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total des NC			7	6	4	4	2	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total des sorties			5	4	1	5	5	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Décès			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Malades en observation			3	0	5	2	7	4	4	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

1585. =

B

Figure 17 : Registres de CTC.

(A) : un registre de CTC avec toutes les variables individuelles des patients admis pour choléra.

(B) : Un deuxième type de registre faisant la synthèse par quartier de provenance des cas admis de façon journalière dans le CTC.

Niveau géographique de recueil et sources de données

Les données ont été recueillies à trois niveaux : au niveau des provinces (11, pour l'ensemble du pays), des zones de santé (160 pour les 4 provinces étudiées en détail) et des aires de santé (27) pour la localité de Kalemie. Les données épidémiologiques ont été recueillies en format papier et en format électronique. L'extraction de certaines données en format électronique a parfois dû être effectuée à partir des disques durs d'ordinateurs hors d'usage au moment de nos visites sur le terrain (Figure 18). Afin de tendre au maximum vers l'exhaustivité des données, des croisements entre les données du Ministère de la Santé, de l'OMS et des ONG internationales comme Médecins Sans Frontières et Médecins du Monde, ont été réalisés.



Figure 18 : Sources des données épidémiologiques, format papier et électronique.

- (A) Recherche d'anciennes données en format papier de plusieurs années, compilées et stockées dans les bureaux des inspections provinciales de la santé. Ici à Bukavu au Sud Kivu. Malgré les conflits dans la région, ces données ont été bien gardées dans les caves des inspections médicales provinciales et dans les zones de santé.
- (B) L'extraction des données en format électronique à partir des disques durs d'ordinateurs hors d'usage.

Depuis 1999, plus d'une centaine d'épidémies de choléra ont été détectées par le système de santé, essentiellement dans les provinces de l'Est, à savoir: le Katanga, le Nord-Kivu, le Sud-Kivu, le Maniema, la Province Orientale et le Kasai Oriental. Les investigations qui ont suivi ont permis d'en apprécier l'ampleur, et de mettre en place des interventions localisées aux zones où sont rapportés les cas. Même lorsque les équipes d'intervention arrivaient en retard sur les lieux (ce qui est fréquent) une reconstitution rétrospective de la situation épidémiologique a pratiquement toujours été réalisée. Les situations d'épidémie étaient alors consignées dans des rapports de terrain.

Tableau II : Synthèse des types de variables épidémiologiques utilisées et sources

Niveau géographique	Type de données	Source de données	Types de bases de données d'origine	Période globale de recueil
Afrique de la région des Grands Lacs (n=8)	Cas et décès par années	OMS	Weekly Epidemiological records,	1970-2007
RDC (échelle pays)	Cas et décès de choléra par semaine	DLM, IPS	Bases de données informatiques, rapports annuels des activités de surveillance des maladies à potentiel épidémique de la DLM,	Semaine 1, 2000-S52, 2008
Provinces de la RDC (n=11)		DLM, IPS	Compilations des formulaires papiers des relevés des maladies à potentiel épidémique sous surveillance reçus des provinces et des zones de santé	2000-2008
Zones de santé de 4 provinces de l'est de la RDC (n=160)		DLM, OMS, PUC-MSFB, MSFF, MDM F, Autres ONG médicales internationales,	Bases de données informatiques, Compilations des formulaires papiers de relevés des maladies à potentiel épidémique des zones de santé et	Semaine 1, 2000-Semaine 52, 2007
Aires de santé des zones de santé de Kalemie et de Nyemba (les deux formant le territoire de Kalemie) (n=27)		BCZS Kalemie Cellule choléra Kalemie	Compilations des formulaires papiers reçus des CTC et des UTC implantés dans les zones sanctuaires Bases de données informatiques de la Cellule choléra	Semaine 1 à semaine 52, 2008 Semaine 1-semaine 26, 2009.
Rues de Kalemie		Cellule choléra Kalemie	Registres du centre de prise en charge des cas de choléra implanté dans la cité de Kalemie	Semaine 1 à semaine 52, 2008

BCZS : Bureau Central de la Zone de Santé
 CTC : Centre de Traitement du choléra
 DLM : Direction de la Lutte contre la Maladie
 IPS : Inspection Provinciale de la Santé
 MDMF: Médecins Du Monde France
 MSFB : Médecins Sans Frontières Belgique
 MSFF : Médecins Sans Frontières France
 OMS : Organisation Mondiale de la Santé
 ONG : Organisation Non Gouvernementale
 PUC : Pool d'Urgence Congo
 UTC : Unité de Traitement du choléra

Les données sur l'historique et le contexte des épidémies

La revue documentaire

Entre 2000 et 2008, plus de 150 rapports de situation d'épidémies de choléra ont été consultés. Ces rapports ont été produits par des équipes du Ministère de la Santé Publique (Direction de la Lutte contre la Maladie, 4^{èmes} Bureaux des Inspections Médicales Provinciales, équipes des Bureaux centraux des zones de santé), des agences des Nations Unies (OMS, UNICEF,), des ONG humanitaires médicales internationales (Epicentre et MSF France, MSF Belgique et le Pool d'Urgence Congo, Médecins du Monde,...).

L'interview des personnes rencontrées

Entre 2005 et 2008, plusieurs personnes impliquées (à différents niveaux) dans la gestion des problématiques des épidémies en RDC ont été interviewées. Ces interviews ont eu lieu en France et en Belgique et en RDC essentiellement. En France et en Belgique, les interviews se sont focalisées sur des responsables (de programme et d'interventions d'urgence) et des volontaires (ayant travaillé en RDC sur des problématiques de réponse aux épidémies de choléra) d'Epicentre et des sections françaises et belges de MSF. En RDC, nous avons essentiellement interviewé des agents des services de santé.

Les interviews ont ciblé préférentiellement les agents les plus âgés, travaillant depuis le début des années 1970. D'autres personnes interviewées étaient des agents et gestionnaires des programmes de lutte contre les maladies au sein des programmes nationaux, des agents nationaux et expatriés des ONG internationales médicales (MSF, MDM, ...) et d'autres travaillant pour des agences internationales (OMS, UNICEF, CICR, ECHO, OCHA, ...). Un entretien plus approfondi a été organisé avec le médecin qui a été coordonnateur du Pool d'urgence Congo de MSFB entre les années 1995 et 2004. Les entretiens organisés avec toutes ces personnes sur le terrain (Figure 19) visaient à reconstituer l'historique des épidémies de choléra ainsi que les modes d'organisation de la lutte.

Les missions de terrain

Les missions de terrain ont été réalisées en deux temps (avant 2005 et après 2005). Une première série de missions de terrain avait été réalisée durant les années 2001 à 2004. Ces missions ont été effectuées en tant que médecin rattaché au projet de surveillance épidémiologique mis en œuvre par l'ONG Epicentre en appui à la Direction de la Lutte contre la Maladie du Ministère de la Santé Publique de RDC. Mes fonctions en tant que responsable de l'antenne Kinshasa (couvrant les deux Kasaï, le Bas Congo, Bandundu et la capitale Kinshasa) du PUC-MSFB entre mars 2003 et août 2004 avaient également été l'occasion de conduire de nombreuses autres missions d'investigation et d'évaluation sur des épidémies de choléra.

Une deuxième série de missions de terrain a été réalisée entre 2005 et 2009 (entre le début de l'année de master et la dernière année de thèse). Ces dernières missions avaient pour principal objectif de vérifier les hypothèses découlant des travaux effectués en France, de poursuivre et d'affiner la collecte de données sur le terrain et de

mettre en place de nouvelles bases de données pour le recueil des données spécifiques non disponibles à travers le système national de surveillance épidémiologique. Il s'agissait aussi de promouvoir la transformation en décision de santé publique applicable à l'échelle de la RDC des résultats scientifiques obtenus au niveau universitaire et de communiquer de façon continue avec les différents acteurs nationaux et internationaux impliqués dans la lutte contre le choléra en RDC, sur les nouvelles connaissances issues de l'étude de la dynamique des épidémies de choléra en RDC.

Enfin, ces missions ont été l'occasion de donner une impulsion au démarrage de la phase opérationnelle d'un vaste programme de santé publique visant à contrôler durablement le choléra en RDC (à travers l'organisation de plusieurs réunions en RDC dont la réunion du 17 au 18 décembre 2007, sur l'atelier de validation du plan stratégique d'élimination du choléra en RDC).

A



B



Figure 19 : Entretiens avec acteurs locaux sur le terrain

(A) : Avec les responsables d'un quartier de Bukama, au Katanga

(B) : Avec toute l'équipe du bureau central de la zone de santé rurale de Bukama, Katanga, en avril 2008.

Les informations sur les confirmations biologiques des épidémies de choléra

Ces informations ont été recherchées dans les rapports mensuels ou annuels conservés au niveau de l'Institut National de Recherche Biomédicale et du laboratoire de biologie de Goma (Ami-Labo). Certains rapports d'investigation des épidémies ont également permis de retrouver la trace de résultats biologiques confirmant des épidémies de choléra. En effet, les procédures en cours en RDC prévoient la confirmation des flambées épidémiques dans une zone de santé par la réalisation d'une dizaine de prélèvements biologiques qui sont acheminés vers les laboratoires de référence (à Kinshasa et à Goma).

La confirmation biologique en urgence sur le terrain par les ONG humanitaires peut aussi faire appel à un test rapide effectué au moyen du test Crystal – VC ® (basé sur le principe de l'immunochromatographie) (87). Ce test rapide est souvent complété par la recherche de *V. cholerae* effectuée par culture. L'isolement de la souche permet aussi de préciser quelques éléments utiles à cette confirmation (séro groupe, biotype, sérotype et éventuellement, l'antibiogramme).

Les données démographiques

Les chiffres de population (par province, zones de santé et aires de santé) et les superficies des zones de santé ont été obtenus au niveau du Ministère de la Santé (73)

Les informations sur le contexte général et les conflits dans la région

Les données sur les crises humanitaires survenues entre 2000 et 2007 ont été obtenues dans les nombreux rapports de situation obtenus auprès des ONG internationales intervenant en zone de conflits et dans les zones de survenue de catastrophes naturelles.

Certains rapports ont été obtenus dans les sites Internet de l'agence de coordination de l'aide humanitaire (OCHA, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs) ainsi que dans le site reliefweb (<http://www.reliefweb.int/rw/rwb.nsf/>). Ces sources permettaient, entre autres, de se procurer des informations sur les mouvements de populations (les déplacés internes) et sur des conflits survenus dans l'est de la RDC, regroupés sous la dénomination onusienne d'urgences complexes. Ce dernier terme dérivé de l'anglais (complex emergencies (CEs),) est défini comme « une situation de crise humanitaire dans un pays, une région ou une société avec une défaillance totale ou considérable du système étatique, résultant d'un conflit interne ou externe et qui exige une intervention et une réponse au niveau international ». (88). Parmi les crises humanitaires signalées, nous nous sommes focalisés sur celles qui ont fait l'objet d'une évaluation de terrain par des organisations humanitaires et qui ont impliqué au moins 1000 personnes déplacées internes (PDI).

La période 2000-2007 a aussi été marquée par une catastrophe naturelle de grande ampleur : l'éruption du volcan Nyiragongo. Le Nyiragongo, le volcan le plus actif de RDC, se situe à environ 20 km au nord de la ville de Goma (400 000 habitants), près du lac Kivu. La dernière éruption majeure du Nyiragongo a eu lieu le 17 janvier

2002, date où des flots de lave ont détruit un tiers de la ville de Goma (89), faisant 147 victimes. En réponse à cette catastrophe, la communauté internationale a apporté une aide massive et rapide à la population et assuré l'approvisionnement en eau potable. De plus, pendant les douze semaines suivant l'éruption, l'accès aux soins a été amélioré grâce à l'action humanitaire des organisations internationales. En particulier, un programme d'approvisionnement en médicaments a couvert tous les centres de soins de santé primaires de Goma et les patients y ont été pris en charge gratuitement pendant 6 semaines, puis à coût réduit pendant encore six semaines (0,2 \$ au lieu de 1 \$ par consultation, médicaments inclus).

Les données qualitatives sur la situation des populations spécifiques

Les informations sur la vie quotidienne des pêcheurs, commerçants, mineurs traditionnels (particularités socio-culturelles, mode de vie et comportements des populations concernées) ont été collectées lors d'enquêtes de terrain réalisées à l'occasion des missions d'investigation d'épidémies (entre 2000 et 2008, nous avons réalisé plus de 20 missions de terrain dont 7 entre 2005 et 2009). Le rythme de vie de ces populations a été analysé pour reconstituer un calendrier d'activités. Les informations sur les mouvements de population tant structurels (pour les activités saisonnières genre commerce) que conjoncturels (conséquence de l'insécurité due aux conflits armés) ont été obtenues à travers les interviews réalisées sur le terrain ou à travers la lecture des rapports de situation de terrain produit par les ONG humanitaires internationales.

Les données climatiques

Les données climatiques ont été recueillies grâce aux informations fournies par le satellite Gridded. Ce satellite estime quotidiennement les précipitations (mesurées en millimètre) fournie par le système d'alerte précoce de la famine en Afrique. Les données sur les précipitations extraites par ce satellite sont organisées dans le programme Love T 2002 : Climate Prediction Centre Rainfall Algorithm Version 2 (90). Les données utilisées dans cette étude ont été extraites à partir des coordonnées suivantes : Résolution: 0.1°x0.1°; longitude: [20W,55E]; latitude: [40S,40N]; période: [du 31 octobre 2000 au 15 février 2009]. Pour extraire les données dans ce site, les estimations de niveau de précipitation ont été effectuées en ciblant les espaces géographiques correspondant aux zones de santé (ou blocs géographiques) étudiés.

Cinq zones géographiques ont fait l'objet de cette recherche de données sur les précipitations. :

- **la zone 1 : « Nord-Kivu, longitude: [28,7E29,7E]; latitude: [1,2S1,7S] »,** représentée par les zones de santé de Goma et de Kirotshe,

- **la zone 2 : « Nord du Sud-Kivu, longitude: [28,729,2]; latitude: [1,7S2,2S] »,** représentée par les zones de santé de Bukavu et Katana,

- **la zone 3 : « Sud du Sud-Kivu, longitude: [28,6E 29,3E]; latitude: [2,6S3,9S] »,** représentée par Uvira et Fizi,

- **la zone 4 « Kalemie, longitude: [28,1E29,5E]; latitude: [5,6S7,2S] »** représentée par les zones de santé de Kalemie et Nyemba,

- **puis la zone 5 : « lac Upemba, longitude: [25,5E26,6E]; latitude: [8,0S9,9S] »**, représentée par les zones de santé Bukama et Kinkondja. Ces données ont été extraites pour la période allant du 31 octobre 2000 au 31 décembre 2007.

Les données environnementales caractérisant chacune des zones de santé étudiées

Il s'agit de données sur la présence (=1) ou l'absence (=0) d'un lac, d'un port, d'une gare ferroviaire, une route principale, d'une ville ou cité de plus de 100 000 habitants dans les zones de santé étudiées. Le tableau composant cette base de données a été réalisé sur le terrain (lors des missions) avec les équipes des bureaux centraux des zones de santé et/ou des Inspections Provinciales de la Santé.

Les données sur la présence de plancton au niveau du lac Tanganyika.

Les données sur les blooms planctoniques disponibles de 2002 à 2006 utilisées dans ce travail sont issues du projet belge CLIMFISH sur la pêche dans le lac Tanganyika (91). Ces données ont été mesurées en microgramme par litre ($\mu\text{g/l}$). Ces blooms planctoniques ont été suivis pendant trois ans par le biais de la mesure de la concentration en chlorophylle a, un indicateur de l'abondance de phytoplancton détectable à l'aide d'images satellites (MODIS). Le traitement des images satellites a été effectué par des équipes travaillant sur la télédétection à l'Université de Liège.

Les données sur la chlorophylle a ont été recueillies dans trois stations situées sur la rive gauche du lac Tanganyika. Deux cités bordant le lac Tanganyika ont été concernées dans ces analyses : Uvira (longitude : $3^{\circ}23.18'$, latitude : $29^{\circ}12.27'$) et Kalemie (longitude : $5^{\circ}55.91'$, latitude : $29^{\circ}15.00'$). Des calendriers épidémiologiques (basés sur le calendrier grégorien) produits par la Direction de la Lutte contre la Maladie ont permis d'ajuster sur une même échelle de temps les données hebdomadaires de choléra et celles des blooms de plancton.

Les cartes thématiques

Les cartes thématiques ont été réalisées en utilisant des fichiers ESRI au format shapefile pour les zones de santé de la région étudiée (150 zones de santé au total pour l'ensemble de la zone d'étude représentée par le Katanga, le Kasai Oriental, le Nord-Kivu et le Sud-Kivu). Ces fichiers de fonds de carte ont été extraits du logiciel healthmapper® produit par l'Organisation Mondiale de la Santé (obtenu auprès de la Direction de la Lutte contre la Maladie du Ministère de la Santé Publique, RDC) puis réactualisés.

II.- Approche méthodologique

Etude de la distribution spatiale

La distribution spatiale des cas de choléra et de la létalité au niveau des provinces et des zones de santé a été étudiée à partir de tableaux et de cartes thématiques représentant le taux d'attaque moyen pour 100 000 habitants (calculé au niveau des provinces) et pour 10 000 habitants (calculé au niveau des zones et des aires de santé) et le taux de létalité. Puis, une étude détaillée de la répartition spatiale du choléra dans les provinces du Katanga, du Kasai Oriental et des deux Kivu a été réalisée pour étudier la distribution spatiale et les facteurs explicatifs environnementaux déterminants cette distribution. Pour cette étude, ces quatre provinces ont été dans un premier temps regroupées en deux blocs géographiques, le bloc « Katanga-Kasai Oriental » et le bloc « Nord-Kivu- Sud-Kivu ». Dans un deuxième temps, cinq sous-ensembles de zones de santé situées en régions lacustres ont été analysés.

Analyse exploratoire géographique globale

Sur le plan cartographique, pour des raisons pratiques et de conformité avec les besoins et des réalités opérationnelles, certains regroupements d'espaces géographiques ont été réalisés à l'intérieur des quatre provinces étudiées. :

- **Dans la province du Kasai Oriental**, un espace géographique correspondant à Mbuji Mayi a été créé en fusionnant les zones de Bipemba, Bonzola, Dibindi et Kansele (composant l'espace Mbuji Mayi dans les anciens fichiers cartographique du ministère et de l'OMS).

- Au Katanga :

Les 5 zones de santé de Lubumbashi (Ruashi, Kamalondo, Kenya, Tshamilemba, Lubumbashi) ont été regroupées en un seul espace géographique appelé « Lubumbashi ». Les zones de santé de Kalemie et de Nyemba ont été regroupées en une seule zone 'Kalemie' représentant le territoire administratif de Kalemie (et conforme à la situation d'avant le redécoupage de 2003).

- dans les provinces du Kivu :

Au Sud-Kivu , les trois zones de santé de Bukavu (Kadutu, Bunyakiri et Bagira) ont été regroupées en une seule zone « Bukavu ». **Au Nord-Kivu** : les deux zones de santé de la ville de Goma (Goma et Karisimbi), ont été fusionnées en une seule zone : « Goma ».

Modélisation du nombre de cas de choléra par zone de santé

Variables explicatives du nombre de cas par zone de santé

La première étape a consisté à faire le choix de la variable épidémique à considérer parmi toutes celles qui avaient été testées : taux d'attaque hebdomadaire maximal, taux d'attaque hebdomadaire moyen, la variance du taux d'attaque, le pourcentage de semaines épidémiques (ayant un nombre de cas rapportés de choléra supérieur ou égal à 1, le nombre de périodes de réactivation des épisodes épidémiques et le nombre brut de cas. Une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée, à titre exploratoire, à partir du tableau comportant des variables épidémiques et des variables environnementales de chacune des zones de santé des espaces géographiques étudiés afin de rechercher une éventuelle corrélation entre les variables qualifiant les épidémies afin d'éliminer les variables redondantes pour les analyses futures (92).

Les relations entre le nombre de cas de choléra dans les zones de santé et leurs caractéristiques géographiques ont été modélisées en utilisant un Modèle Linéaire Généralisé (GLM). Un modèle prédictif du choléra a été construit à partir des cas de choléra rapportés dans les zones de santé (composant les deux blocs géographiques) et des données environnementales des zones de ces blocs. Pour ce faire, les relations statistiques ont été étudiées reliant le nombre de cas de choléra dans chaque zone de santé et les variables géographiques et environnementales suivantes : superficie, population, situation (en bord de lac ou non) et présence/absence de ville de plus de 100 000 habitants, de port de commerce et d'axe routier majeur. Trois modèles ont été comparés afin de rechercher le plus adapté à nos données: un modèle de Poisson (mod0) et deux types de modèles négatifs binomiaux (93-95).

Ainsi,

- en considérant qu'on veut prédire un taux, c'est-à-dire une valeur qui va de 0 à 1, il pouvait être possible d'utiliser une fonction de lien binomiale,
- en considérant qu'on veut prédire un nombre de cas à partir d'un nombre qui est l'effectif d'une population, on aurait pu utiliser une fonction de lien dont l'erreur de distribution est supposée être poissonnienne,
- en considérant que la variation est sur-dispersée, et avec les mêmes intentions que ci-dessus, on aurait alors préféré une fonction de lien binomiale négative (qui inclut un paramètre relatif à la dispersion) plutôt que poissonnien,
- enfin la binomiale négative n'ayant pu être appliquée pour des raisons diverses (ex pas de convergence), elle aurait pu être remplacée d'une certaine manière par une distribution quasi-poissonnienne, qui ne présuppose pas de connaître pleinement le type d'erreur de distribution de la variable réponse.

Après avoir testé tous ces modèles, les relations entre le nombre de cas de choléra dans les zones de santé et les variables géographiques ont finalement été modélisées à

l'aide d'un modèle binomial négatif de type II (fonction logarithmique pour à la fois la moyenne et la distribution des paramètres):

$$f(y | \mu, \sigma) = \frac{\Gamma(y + (\mu/\sigma)) \sigma^y}{(\Gamma(\mu/\sigma) \Gamma(y+1) (1+\sigma)^{(y+(\mu/\sigma))})}$$

Où: μ est la moyenne, σ est le paramètre de dispersion et $\sqrt{(1+\sigma)}\mu$ est la déviation standard.

Chaque variable a été sélectionnée suivant une démarche pas à pas et les meilleurs modèles ont été comparés en fonction des critères d'Akaike en se référant aux ouvrages de Venables et Ripley [81] et de Rigby et coll. (94). Un modèle final a ainsi été établi ne gardant que les variables explicatives dont le coefficient diffère significativement de zéro au risque α de 0,05.

Une éventuelle structuration spatiale des résidus aurait pu biaiser les résultats obtenus (les points de données seraient alors non-indépendants). La structuration spatiale des résidus a été explorée en attribuant à chaque cas de choléra, le centroïde de la zone de santé où il a été notifié. Un variogramme empirique a été calculé sur cette base. Ensuite, une enveloppe de variogramme a été calculée en exécutant 1000 permutations des valeurs résiduelles sur les centroïdes. Les limites d'enveloppe ont été alors comparées au variogramme empirique, qui s'est alors avéré être inclus dans l'enveloppe. Cette analyse indique que l'hypothèse nulle d'une distribution spatiale aléatoire des résidus ne peut-être écartée.

Validation de la relation entre le choléra et les variables environnementales.

L'étude des données de 2002-2005 sur le bloc géographique « Katanga - Kasai Oriental » a permis d'obtenir des valeurs des Odds ratios correspondant au poids de chaque variable environnementale. Ces valeurs ont été utilisées pour calculer un score de risque qui a été attribué à chaque zone de santé et positionné sur une carte. Cette carte des valeurs des scores a ensuite pu être comparée à la carte des cas de choléra obtenus sur la période 2006-2007, permettant d'établir jusqu'à quel point, les zones identifiées comme à risque sur la base des données 2002-2005 avaient bien été les plus touchées pendant les deux années suivantes. Une deuxième validation a consisté à rechercher si les variables environnementales mises en évidence par les modélisations effectuées au Katanga et au Kasai, étaient retrouvées sur les provinces voisines du Kivu.

Recherche des zones de rétraction et/ ou de zones sanctuaires du choléra

Il a été considéré comme zone de rétraction, tout espace géographique délimité sur le plan administratif ou sanitaire, qui se caractérise par la présence et la persistance de cas de choléra après une phase de flambée épidémique, alors que d'autres zones sont depuis plusieurs semaines revenues à une notification de zéro cas. Introduire sous forme d'hypothèse

Entre 2000 à 2007, une recherche des zones où persistait le choléra a été menée d'abord dans la région Katanga-Kasai Oriental, puis dans la région des deux provinces du Kivu. Pour rechercher ces « zones sanctuaires », nous avons considéré les périodes de

rétraction, c'est-à-dire des périodes de quatre semaines consécutives où le nombre de cas de choléra a été le plus faible (considérée comme les périodes où la probabilité attendue d'extinction du choléra est la plus forte). Trois périodes de rétraction ont été identifiées sur les séries temporelles des cas de choléra des blocs géographiques « Katanga-Kasaï Oriental », puis « Nord-Kivu-Sud-Kivu ». Pour chacune des périodes de rétraction identifiées, nous avons ensuite reportés sur une carte les zones de santé où le choléra était encore présent.

Les calculs et les représentations graphiques ont été faits à l'aide d'ArcGIS 8.3®, de R 7.2 (93) et des progiciels complémentaires suivants : MASS[9], maptools (96), sp(93), GAMLSS (94) et GeoR (95). (Les mêmes outils ont été utilisés pour le reste du travail pour des opérations similaires)

Etude de la dynamique temporelle

Recherche du caractère saisonnier

Pour cette étude, il n'a été considéré que les séries temporelles longues d'au moins quatre ans. Ainsi, cette étude n'a concerné que des zones lacustres. Cinq zones géographiques ont été retenues pour l'étude du caractère saisonnier du choléra en zones lacustres. La zone 1 : « Nord-Kivu », représentée par les zones de Goma et de Kirotshe, la zone 2 : « Nord du Sud-Kivu », représentée par les zones de Bukavu et Katana, la zone 3 : « Sud du Sud-Kivu » représentée par Uvira et Fizi, la zone 4 « Kalemie » représenté par les zones de Kalemie et Nyemba, puis la zone 5 : « lac Upemba », représentée par les zones de Bukama et Kinkondja. Ces zones ont été regroupées en fonction de leur proximité géographique et du caractère synchrone de la dynamique temporelle des cas de choléra qui y sont rapportés.

Analyse de la cinétique de l'épidémie,

Décomposition du signal : saisonnalité, tendance et résidus

Cette analyse a été effectuée sur des séries hebdomadaires de six ans (pour le Katanga/Kasaï Oriental) et de huit ans (pour le Nord-Kivu/Sud-Kivu). Cette analyse a permis de tester la saisonnalité de l'incidence du choléra déjà largement évoquée pour le choléra en zone côtière (97).

Les analyses effectuées dans cette approche ont consisté en :

- **l'extraction d'une tendance supposée périodique** (il faut vérifier ensuite qu'elle est en phase avec un développement saisonnier d'un point de vue climatologique) ;
- **l'extraction d'une tendance non périodique** (par exemple la diminution du nombre de cas au cours des années) ;
- **la recherche dans les résidus d'une éventuelle auto-corrélation temporelle qui pourrait biaiser l'estimation de la moyenne résiduelle.**

Un modèle autorégressif (AR) a ensuite été utilisé pour établir si les résidus satisfaisaient bien l'hypothèse de stationnarité, à savoir l'absence de tendance résiduelle.

La sélection entre les différents modèles (en procédant avec un ordre 0, 1, 2, 3, et c.) a été effectuée selon les critères d'Akaike. Ces trois étapes permettent d'explorer ensuite les éventuelles corrélations entre séries, indépendamment des autres composantes, notamment périodiques/saisonniers. En effet, la corrélation de deux séries temporelles peut être due à une cause externe qui les détermine simultanément (ex. : effet périodique de la saison à l'échelle régionale, qui pourrait expliquer à lui seul la corrélation de zones d'étude à une échelle infra-régionale), et l'extraction de la composante périodique saisonnière permet d'identifier d'éventuelles causes de corrélations non saisonnières.

Les séries temporelles ont été analysées, à la recherche d'un déterminisme saisonnier, en utilisant une méthode consistant à décomposer les séries en une tendance générale, une composante saisonnière à l'aide du logiciel MASS (93), d'après les indications de Cleveland et al. (98). Cleveland et al. (1990) in Venables & Ripley (2002) (93) ont proposé un algorithme de calcul qui est résumé ainsi: « the periodic component is found by taking the mean of each time unit (week 1, week 2...). The seasonal values are removed, and the remainder loess smoothed to find the trend. The overall level is removed from the seasonal component and added to the trend component. This process is iterated a few times. The 'remainder' component is the residual from the seasonal plus trend fit. ». Enfin l'autocorrélation résiduelle dans les résidus a été analysée en utilisant les méthodes autorégressives (AR) ou de moyenne mobile (MA) ou mixte (ARMA).

Les calculs et les graphiques ont été effectués avec les logiciels R 2.4 (R Development Core Team, 2006) (99), R packages MASS version 7.2-30 (93), maptools (Lewin-Koh and Bivand, 2006) (96), sp (Pebesma and Bivand, 2005) (100), geoR (Ribeiro and Diggle, 2001) (101) et ArcGIS 8.3.

Etude des facteurs de risque de choléra en zone lacustre, Est RDC

Etude des liens entre la pluie et les flambées de choléra à l'Est de la RDC

L'analyse a été réalisée à partir des résidus issus de la décomposition des séries temporelles des cinq blocs de zones lacustres étudiés plus haut. Puis, les séries temporelles des données de pluviométrie ont été décomposées pour en extraire les résidus sur lesquels la suite des analyses a été effectuée. Enfin, une recherche des corrélations entre les différents résidus a été effectuée prenant en compte les variations saisonnières et/ou interannuelles des séries de pluviométrie (extraites de tendance) et les résidus de cas de choléra (pour les cinq blocs de zones lacustres).

Impact des urgences complexes et des catastrophes naturelles sur la dynamique du choléra

Cette étude a été réalisée sur les zones de santé des provinces du Nord-Kivu et du Sud-Kivu. Cette région a été choisie pour cette étude car elle a été la plus touchée par des urgences complexes (100). Les déplacements de population liés à des crises humanitaires ont été rapportés pour chaque zone de santé et resitués dans le temps. L'étape suivante a consisté à rechercher l'existence de corrélations croisées entre les séries temporelles des zones de santé (102). Les séries temporelles synchrones, sans décalage de temps au sein d'une aire géographique, ont été regroupées, définissant cinq zones (zone 1 : Mutwanga ; zone 2 : Goma, Kirotische ; zone 3 : Bukavu, Katana ; zone 4 : Uvira, Nunduru, Fizi ; zone 5 : Pinda, Walikale). Les séries temporelles obtenues ont été

décomposées en tendance, composante saisonnière, et résidu (98). Les résidus ont par la suite été analysés et, pour chaque semaine, les zones ayant un nombre de cas supérieur à la moyenne des cas (moyenne calculée sur la totalité de la période d'étude) ont été considérées comme étant en réactivation épidémique.

Le progiciel MASS de R (93) a été utilisé pour ces analyses. Dans l'hypothèse où les conflits se trouveraient être un facteur favorisant la survenue d'épidémie, on devrait observer plus de réactivations épidémiques pendant les 12 semaines suivant un conflit que pendant les 12 semaines suivant une quelconque période sans conflit tirée au sort. Cette hypothèse a été testée sur la base de 1000 simulations, à la recherche d'au moins une (ou l'absence totale de) réactivation d'épidémie pendant les 12 semaines suivant chacune des périodes tirées au sort en période non épidémique. Le nombre de semaines ainsi randomisées était proportionnel au nombre de conflits recensés pour chaque zone. L'impact de l'éruption du Nyiragongo a aussi été analysé en relation avec la dynamique des épidémies de choléra. De plus, pendant les 12 semaines après cette éruption, une étude épidémiologique a été entreprise dans les structures de santé de Goma. Pendant cette période, tous les cas de diarrhée aiguë, d'infection respiratoire haute ou basse et de fièvre ont été notés dans les cinq centres de santé de l'ouest de Goma. Ces données ont pu être comparées à celles obtenues dans ces mêmes centres pendant les trois semaines ayant précédé l'éruption.

Etude des facteurs socio-anthropologiques, impact du cycle et des modes d'activité des populations spécifiques

Des séries d'entretiens non structurés, des visites et des observations de situation sur le terrain ont été réalisées pour comprendre les modes de vie des populations spécifiques. Il s'agit des pêcheurs et des commerçants présents dans des campements de pêcheurs dans les zones lacustres au nord-est de Bukama et sur les rives du lac Tanganyika et des populations de mineurs traditionnels des provinces du Katanga, du Nord-Kivu et du Kasai Oriental

Impact de la variabilité des blooms de plancton sur la dynamique temporelle du choléra

La première étape a consisté à reconstituer puis analyser les corrélations des séries de données sur le plancton (sans les tendances inter-annuelles), puis ces séries ont été corrélées à celles des résidus obtenus après décomposition des séries temporelles de choléra dans les deux sites lacustres d'Uvira et de Kalemie en tendances saisonnières et inter-annuelles.

Reconstitution et examen des données « planctoniques »

Pour réaliser une comparaison rigoureuse avec les cas hebdomadaires de choléra, il fallait que la série « plancton » soit calée sur les mêmes semaines que celle des cas de choléra. Les dates exactes étant fournies avec les séries « *plancton* », les statistiques hebdomadaires correspondant aux semaines « *choléra* » ont été recalculées. Comme plusieurs (ou aucune) mesures sont parfois faites chaque semaine, la valeur « plancton » a été calculée comme étant :

$$\frac{\sum_{j=1}^7 x_j n_j}{\sum_{j=1}^7 n_j}$$

avec :

x_j valeur moyenne du jour j ;

n_j le nombre de pixels mesurés le jour j.

Les écarts-types ont été recalculés sur le même principe.

L'examen des corrélations entre les différentes séries « *plancton* » a été possible en travaillant sur le logarithme des valeurs afin de limiter l'impact des grandes variations observées dans la série planctonique. Les corrélations entre les résidus des deux types de données ont été réalisées soit sans décalage, soit avec un décalage de temps. Dans le cas des analyses de corrélations avec décalage, l'analyse des corrélations a été réalisée en décalant à chaque itération la série « *choléra* » d'une semaine. Pour un temps t de la série « *plancton* », on regarde donc le nombre de cas de choléra au temps t+1, t+2, t+3, etc.... jusqu'à t+26 (t + 26 semaines = t + 6 mois) de la série choléra.

La métastabilité et l'endémicité, comme modes de maintien du choléra en zone lacustre.

La métastabilité a été étudiée à trois échelles spatiales et temporelles emboîtées:

- d'abord annuellement au niveau de l'ensemble de la zone des Grands Lacs africains,
- puis de façon hebdomadaire au niveau des régions lacustres de l'est de la RDCm
- puis de façon hebdomadaire au niveau des deux territoires lacustres du Katanga : les zones de santé bordant les lacs centraux du Katanga (Bukama, Butumba, Kinkondja, Kabondo-dianda, Malemba Nkulu, Mulongo, Mukanga) et les 18 aires de santé des zones de santé de Kalemie et Nyemba composant la ville de Kalemie.

III. Déclinaison de ces études en plan opérationnel de santé publique :

Le plan de mise en place du projet d'élimination du choléra en RDC

Les résultats scientifiques mis en évidence dans cette étude ont ensuite été **déclinés en un projet opérationnel visant à lutter plus efficacement contre le choléra en RDC**. Il s'agissait à partir des résultats obtenus dans ce travail, de proposer une nouvelle approche de lutte contre le choléra en République Démocratique du Congo. La mise en oeuvre de cette nouvelle approche est passée par plusieurs étapes dont :

- le **renforcement et l'ajustement du système de surveillance épidémiologique ;**
- **l'élaboration et la validation par le ministère de la Santé Publique d'une nouvelle approche de lutte de lutte contre le choléra ;**
- **l'élaboration d'un plan de mise en oeuvre du nouveau projet ;**
- et enfin **le lancement de la phase pilote de ce projet de lutte contre le choléra.**

Le renforcement et l'ajustement du système de surveillance épidémiologique

Ce renforcement a consisté en une évaluation du système existant en rapport avec la lutte contre le choléra. Au cours de cette évaluation, les points forts et les points faibles du système ont été identifiés. Sur la base des points faibles du système, des propositions ont été faites et reprise dans le plan stratégique et le guide national de la lutte contre le choléra. Le système de surveillance actuellement existant en RDC permet la remontée jusqu'au niveau central (de la DLM), des données sur le choléra agrégées au niveau des zones de santé. Il a été renforcé au cours de ce travail les aspects de promptitude (délai d'arrivée des données au niveau de la DLM) et de complétude (pourcentage de rapports arrivant au niveau de la DLM). La centralisation ainsi que les analyses continues ont également été amélioré. Des retours d'informations réguliers vers les zones de santé étaient également organisés.

L'élaboration et la validation du projet de lutte contre le choléra

Cette approche reposait et était confortée par les dernières résolutions de l'Organisation Mondiales de la Santé et du Fonds des Nations Unies pour l'Enfance en sigle UNICEF (103, 104)

Le but était de proposer au ministère congolais de la Santé Publique une nouvelle approche opérationnelle de lutte contre les épidémies de choléra. Cette nouvelle orientation stratégique a été entièrement basée sur les résultats scientifiques obtenus dès les premières années et publiés dans la littérature scientifique. Des contacts réguliers et des séries de communications auprès des autorités du Ministère de la Santé publique de la RDC ont convaincu les responsables congolais de la nécessité de la mise en place de ce projet. Une première ébauche de plan définissant les grands axes d'une nouvelle politique de lutte contre le choléra a d'abord été rédigée puis soumise à différents experts de santé publique. Pour ce faire, deux documents ont été préparés pour être soumis à l'approbation

des experts. Il s'agissait du plan stratégique d'élimination du choléra et du guide de surveillance épidémiologique en RDC. Ces deux documents ont ensuite été analysés et adoptés lors d'un atelier de travail regroupant une cinquantaine de participants et organisé à Kinshasa du 17 au 18 décembre 2007 sous

Le plan d'élimination du choléra en RDC, 2008-2012

Ce plan d'élimination du choléra est basé sur l'identification des zones sanctuaires du choléra en RDC. Les zones sanctuaires du choléra à l'est de la RDC, identifiées comme étant des sites prioritaires du projet d'élimination du choléra en RDC. Parmi ces sites, on note: Kalemie, Bukama et Kasenga (au Katanga), Uvira et Bukavu (au Sud-Kivu), Goma (au Nord-Kivu) et Bunia (en Province Orientale). En fonction du profil évolutif du choléra dans ces zones, les sites prioritaires pour ce projet d'élimination pourraient être classés dans l'ordre d'importance suivant: Kalemie, Goma, Uvira, Bukavu, Kasenga, Bukama, et Bunia.

Les points les plus importants de ce plan stratégique sont :

- Objectifs

- Objectif général : Contribuer à l'amélioration de l'état de santé de la population de la RDC par la réduction de la morbidité et de la mortalité attribuables au choléra ;

- Objectif spécifique : Eliminer le choléra en RDC d'ici fin 2012 (fixé lors de l'atelier de 2007).

Le Ministère de la Santé de la RDC considèrera le choléra comme éliminé lorsque sera atteint un taux d'incidence annuel inférieur à un cas confirmé pour 100 000 habitants soit moins de 500 nouveaux cas confirmés par an.

Le projet de lutte concentre les principaux efforts de lutte au niveau des zones lacustres sanctuaires. Le premier site choisi comme site pilote pour lancer la mise en projet est la zone de Kalemie. Une fois l'ensemble du montage testé et validé à Kalemie, la seconde phase sera celle de l'extension de la mise en oeuvre dans les six autres sites sanctuaires.

- Axes stratégiques

Pour éliminer le choléra en RDC, les axes stratégiques suivants ont été retenus :

1. Renforcement des activités de surveillance épidémiologique.

Il s'agit à la fois de la surveillance clinique, biologique et environnementale. Cette surveillance sera adaptée en fonction des phases évolutives de l'épidémie (période de flambée et période d'accalmie). Un Bulletin Epidémiologique sera publié mensuellement (ou trimestriellement) afin de fournir des informations aux différents acteurs sur le suivi du projet.

2. Renforcement des mesures de prévention dans les zones de santé cibles

Les actions sur la prévention devront porter essentiellement sur la promotion de la santé, l'assainissement de l'environnement ainsi que les mesures d'hygiène individuelles et collectives. Les mesures d'assainissement et hygiène devront se baser sur l'évacuation des égouts et des eaux usées. Un accent particulier sera mis sur le lavage des mains, la salubrité des aliments et l'élimination sans risque des excréta.

Il est envisagé la construction des latrines hygiéniques dans des lieux publics (marchés, écoles, ports, gares). Des programmes spécifiques de prévention ciblant des populations des pêcheurs et les commerçants devront être mis en place. Les notions sur la prévention du choléra devront être intégrées dans les programmes d'éducation pour la santé des écoles. Dans certaines situations spécifiques (regroupement de populations déplacées dans une zone où sévit du choléra, populations flottantes des îlots submergés et autres campements lacustres) il sera possible d'envisager des campagnes de vaccination préventive.

3. Des interventions spécifiques concernant l'accès à l'eau potable et l'assainissement

Il s'agira notamment d'améliorer l'accès au service de l'eau dans les zones considérées comme à risque du point de vue des épidémies de *choléra*. Une différence sera faite entre les actions conduites en zones urbaines et les actions en zone rurale.

4. La prise en charge des cas

La prise en charge des cas sera organisée au niveau des centres de traitement des maladies diarrhéiques (CTMD), eux-mêmes intégrés au sein des principales formations sanitaires des zones concernées. Les traitements seront gratuits pour les patients (subventionnés).

5. Le renforcement de la coordination

Une plate-forme regroupant différents intervenants dans ce projet devrait être mise en place dans le cadre d'un Pacte pour l'Élimination du choléra en RDC. Le partenariat inter- et intra-sectoriel devra être renforcé à tous les niveaux.

6. La promotion de la recherche

Les questionnements qui émergeront tout au long du projet opérationnel et scientifique feront l'objet de recherche opérationnelle. Exemple : Vérifier l'hypothèse sur la présence pérenne ou non du *Vibrio cholerae* dans les eaux du lac Tanganyika, la réémergence en endogène ou non des foyers métastables des flambées épidémiques de choléra, ...

La stratégie de renforcement de la surveillance épidémiologique, le plan de mise en oeuvre ainsi qu'une synthèse des premières actions du projet pilote de Kalemie constituent les principaux éléments de l'application opérationnelle de ce plan d'élimination du choléra.

Le plan de mise en œuvre du plan stratégique d'élimination du choléra en RDC

Le plan de mise en œuvre de la stratégie d'élimination du choléra en RDC est globalement inscrit dans le document adopté lors de l'atelier de validation des 17 et 18 décembre 2007. La première phase a consisté à déterminer le site géographique du lancement de la phase pilote du projet. Cette détermination a été faite sur la base des considérations épidémiologiques. Puis, une seconde phase a consisté en la réalisation de missions destinées à affiner les diagnostics de situation dans ce site pilote. Ces missions avaient, entre autres, pour objectif d'identifier des données et des informations permettant la mise en œuvre des activités de soins, des études épidémiologique, et des actions visant à l'amélioration de la situation concernant l'eau et l'assainissement.

Au total, trois missions ont été nécessaires dans le site de Kalemie, choisi comme site pilote. Ces missions étaient également l'occasion d'implanter les systèmes spécifiques de surveillance, utiles pour répondre aux objectifs d'élimination. Ces missions ont été réalisées par des équipes multidisciplinaires associant des médecins, des biologistes et des ingénieurs spécialisés dans l'eau et l'assainissement. L'évaluation des différents résultats de cette phase pilote devrait par la suite produire les outils nécessaires à la mise en place d'un plan d'extension de la mise en œuvre du plan d'élimination du choléra dans d'autres sites prioritaires retenus.

Afin de préparer une bonne collaboration des acteurs lors de la mise en œuvre, il a été prévu de mettre en place un pacte des acteurs pour la mise en œuvre du plan d'élimination du choléra en RDC. Ce pacte se voudrait être un consortium d'acteurs de divers horizons (étatique, ONG internationales et nationales, universitaires, centres de recherche, entreprises, agences des nations unies, agences de financements, ...) mettant ensemble leurs compétences et/ou moyens financiers, techniques et logistiques pour la réalisation du plan d'élimination du choléra. Tout naturellement, il a été prévu que la coordination de ce consortium soit faite par le Ministère de la Santé Publique par l'intermédiaire de la Direction de la Lutte contre la Maladie (DLM).

Au sein de cette DLM, compte tenu des objectifs à atteindre par ce plan, et aussi pour mieux jouer son rôle de pivot dans ce plan d'élimination du choléra, il a été mis en place une Cellule de Coordination et de Suivi de la mise en Œuvre du plan stratégique d'élimination du choléra en RDC (en plus court : Cellule choléra RDC). Un arrêté ministériel d'officialisation de cette Cellule choléra a été rédigé et soumis à la signature du Ministre de la Santé.

Le dernier volet de ces préparatifs de la mise en œuvre du plan stratégique d'élimination du choléra a été de communiquer auprès de plusieurs acteurs et bailleurs potentiels afin de les encourager à rejoindre le pacte pour la mise en œuvre du plan, ou bien d'intervenir dans un des volets de ce plan sans adhérer de façon formelle au pacte. Un travail de lobbying est en cours pour rechercher des financements pour faciliter la mise en œuvre du projet. Enfin, plusieurs communications ont été effectuées en RDC, en Afrique (à Dakar) et en Europe (France, Belgique et Suisse) dans le but de faire connaître le projet ainsi que la stratégie qui la sous tend, afin de susciter une adhésion de différents acteurs (et potentiels partenaires) susceptibles d'intervenir sur le terrain.

***La mise en oeuvre opérationnelle de la première phase du projet
d'élimination du choléra***

Les Phases de diagnostic

Le but du diagnostic épidémiologique était :

- **d'identifier les quartiers les plus touchés** de la cité de Kalemie
- **d'identifier les facteurs locaux de récurrence** des cas de choléra dans ces quartiers.
- **d'identifier les populations les plus à risques** ainsi que leurs modes de vie
- **de mettre en place un nouveau système de surveillance** épidémiologique basé sur :
 - la surveillance des cas de choléra au niveau des aires de santé ;
 - la surveillance des cas de choléra au niveau des rues de la ville de Kalemie ;
 - la surveillance au cas par cas des patients suspects de choléra admis au centre de traitement de la cité de Kalemie pendant les périodes d'accalmie épidémique ;
 - la surveillance biologique systématique de tous les cas suspects admis au centre de traitement durant les périodes d'accalmie ;
 - la surveillance de certains paramètres qualitatifs permettant d'anticiper indirectement l'évolution des cas de choléra.

Ainsi, des systèmes spécifiques de surveillance ont été mis en place comme l'installation du bureau provisoire de la Cellule choléra. Cette équipe, chargée pour le compte du Ministère de la Santé de suivre toute la partie épidémiologique du projet, est composée de : un médecin, un infirmier superviseur avec une grande expérience des enquêtes de terrain, un informaticien chargé de la saisie des données et un technicien de laboratoire chargé de prélever, conditionner et expédier dans des milieux de Cary-blair des échantillons de selles vers l'INRB à Kinshasa.

Le Diagnostic de la problématique de l'eau à Kalemie.

D'une manière générale l'objectif visé à travers ce diagnostic est :

- **d'améliorer l'accès durable à l'eau potable et à l'assainissement** dans les sept sites sanctuaires en général et à Kalemie en priorité.
- **de sensibiliser les populations à risque pour favoriser l'adoption de comportements adaptés à l'élimination de la maladie.**

En plus opérationnel, l'objectif était de :

- **évaluer les conditions d'accès à l'eau et à l'assainissement** liées à une analyse des cas de choléra dans la ville de Kalemie

- **étudier la faisabilité des projets et des interventions futures** à mettre en place pour augmenter les apports quantitatifs et qualitatifs des eaux de boissons des populations des quartiers prioritaires.

- **chiffrer le coût et les bénéfices attendus d'une action sur l'eau potable et sur l'assainissement**, en tenant compte des conséquences à distance (diffusion à distance d'épidémies de choléra débutant à Kalemie.

- **rechercher des partenaires intéressés par la thématique de l'accès à l'eau potable** (UNICEF, autres) et d'éventuels bailleurs de fonds (Union Européenne).

En fonction des orientations du plan stratégique d'élimination du choléra, une série d'activités ont été réalisées pour lancer la mise en oeuvre de ce plan dans le site pilote de Kalemie. Parmi ces activités figurent :

Des missions conjointes réunissant des équipes multidisciplinaires et multisectorielles dans l'objectif de réaliser des diagnostics de terrain.

La mise en place de nouveaux systèmes de surveillance épidémiologiques

L'approche multi-échelle préconisée dans ce travail nécessite la collecte de données plus précises que celles recueillies au niveau des zones de santé.

Nous avons donc été amenés, à affiner le suivi épidémiologique en recueillant les données au niveau des aires de santé, et au sein de ces aires de santé, au niveau des rues. Pour ne pas encombrer et compliquer le circuit national de notification, un circuit spécifique, complémentaire du premier a été mis en place pour les données par aires de santé et par rues. Depuis le début de la mise en place de ce système spécifique, ces données sont expédiées chaque semaine (par mail ou par téléphone) depuis le site pilote de Kalemie vers la DLM où a été installé le bureau central de la Coordination du suivi de l'exécution du plan de lutte mis en place.

A partir de 2009, un certain nombre d'actions spécifiques ont permis été initiées afin d'améliorer la situation du choléra à Kalemie.

Ces actions ont été mises en place à travers un système de surveillance permettant de rechercher les facteurs de risque des cas de choléra rapportés dans les zones lacustres sanctuaires durant les périodes d'accalmie et les périodes de réactivation épidémique. Pour cela, chaque cas suspect admis dans les CTC durant les phases d'accalmie (et aussi durant les phases de réactivation épidémique) doivent faire l'objet d'une enquête approfondie allant de son lit au CTC jusqu'à son domicile ainsi que d'une confirmation biologique. Lors de l'enquête au domicile, deux témoins identiques au cas sur la base de l'âge, du sexe et du quartier de résidence, étaient également enquêtés.

Le questionnaire et la liste des variables recherchées lors de l'enquête cas-témoins est présentée en Annexe. L'ensemble de ces données ont été saisies et conservées au niveau des bases de données des zones de santé et de la DLM.

Chacune des enquêtes de terrain au domicile des cas et des témoins, était une occasion d'effectuer des actions de sensibilisation de « proximité » et « ciblée ». Des messages d'éducation et de sensibilisation étaient formulés en fonction des probables facteurs de risque suspects d'être en cause dans la contamination du cas et identifiés sur les lieux. Le renforcement de la surveillance des cas de choléra et un suivi individuel de chaque cas suspect admis au centre de traitement ont été instaurés avec une recherche de facteurs de risque. Les résultats de cette enquête menée sur chaque cas, ont été utilisés pour orienter les messages de sensibilisation ciblée.

La mise en place d'une stratégie de sensibilisation « ciblée »

Elle consistait en une éducation des populations autour du lieu de provenance de chaque cas de choléra admis au Centre de traitement. Les messages éducatifs sont orientés par la connaissance préalable des facteurs de risques potentiels, découverts lors de l'enquête menée sur les cas suspects.

La surveillance biologique des cas

En dehors des confirmations effectuées durant les flambées épidémiques, une surveillance biologique individuelle des cas de choléra a été mise en place à partir de février 2008. Chaque cas suspect de choléra admis au CTC de Kalemie a fait l'objet d'un prélèvement de selle effectué sur milieu de cary blair. Puis ces prélèvements étaient envoyés au laboratoire national de santé publique à Kinshasa (INRB). Ce suivi biologique individuel a été réalisé de façon discontinue depuis février 2008. Des actions de désinfection des domiciles étaient également menées avec l'aide des agents de la croix rouge locale (quand il y avait du chlore pour le faire)

Des actions visant à améliorer les apports en eau potable

Ces actions ont été initiées dès la fin 2007. A cette période, deux premières bornes fontaines avaient été posées dans la partie sud de la ville de Kalemie. Vingt autres bornes fontaines étaient posées dans la ville. Pour suppléer le manque d'eau potable dans certains quartiers vulnérables, des systèmes de chloration au seau étaient mis en place. La quantité de solution d'hypochlorite de sodium nécessaire au traitement de l'eau va dépendre de la qualité initiale de l'eau (pour une eau de qualité moyenne, 1 litre de solution concentrée devrait permettre de traiter 3 à 4 m³, i. e. 3000 à 4000 litres). Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'eau de boisson devrait contenir entre 0.5 et 1 mg/l de chlore résiduel libre (CRL) (105).

Pour préparer une phase plus stable d'amélioration des apports en eau potable, des actions transitoires ont été menées auprès de l'entreprise nationale de distribution d'eau potable. Ces actions consistaient essentiellement dans la réparation des fuites d'eau dans le réseau. D'autres actions ont été conduites sur ce site pilote de Kalemie dans le cadre de la lutte contre le choléra. Il s'agit des séances de sensibilisation dans les écoles primaires et secondaires, des sensibilisations de masse dans les milieux publics (Marchés, ports, gares), souvent avec le support des griots chantant sur le thème du choléra.

RESULTATS

1. Le choléra dans la région des Grands Lacs

La 7^{ème} pandémie dans la région des Grands Lacs africains (vallée du Rift) de 1970 à 2008

D'après les données de l'OMS, les premiers cas dans cette région ont été rapportés en 1971 au Kenya (239 cas), puis en Ouganda (757 cas), pays voisin du Kenya. Sur le plan chronologique et selon le profil évolutif du nombre de cas, on pourrait distinguer quatre périodes évolutives du choléra dans cette région de l'Afrique :

La première phase, entre 1971 et 1977 (7 ans) :

De brèves flambées épidémiques de faible ampleur et très espacées les unes des autres ont touché quatre pays (Kenya, Ouganda, Malawi, puis Tanzanie en 1977). Durant cette période, 5 199 cas de choléra sont rapportés dans ces quatre pays dont 61% au Kenya. Le nombre annuel maximum de cas rapportés par un pays a été 1 359, rapportés par le Kenya en 1976. Durant toute cette période, la Zambie, le Rwanda, le Burundi et la RDC (dans sa partie orientale) sont restés indemnes de choléra.

La deuxième phase, entre 1978 et 1984 (7 ans) :

A partir de 1978, les huit pays ont été touchés. Au total, 85 555 cas ont été rapportés en sept ans. Cette période était caractérisée par une succession de flambées épidémiques de forte ampleur. Les plus importantes étaient celle de 1978 (21 543 cas, la Tanzanie et le Burundi, étant les deux pays les plus touchés) et celle de 1982 (20 106 cas, la RDC et le Kenya étant les deux pays les plus touchés). Le nombre annuel maximal de cas rapportés par un pays a été de 10 328 pour la RDC en 1982.

S'en suivit une période d'accalmie, entre 1985 et 1988, soit durant quatre ans, il n'y a eu que 16 884 cas rapportés. L'essentiel des cas sont survenus en RDC (3 244 cas), au Kenya (2 446 cas) et en Tanzanie (10 374 cas). L'Ouganda, le Burundi, le Rwanda et la Zambie ont été très peu ou pas du tout touchés.

La troisième phase, depuis 1989 jusqu'à maintenant, est marquée par l'aggravation de la situation avec un choléra qui continue à survenir par flambées successives et tend à devenir endémique dans certaines zones. Cette phase a débuté par une flambée de choléra partie de Tanzanie en 1988 pour se propager rapidement aux autres pays de la région (dans l'ordre d'atteinte : Malawi, Kenya, Zambie, RDC, puis les trois autres). Les flambées épidémiques les plus importantes ont été celles de 1994, 1997-1998 et 2002. A plusieurs reprises, le nombre annuel de cas a largement dépassé les 30 000 cas (pour 5 pays sur 8).

Au total, de 1971 à 2007, les huit pays de la région des Grands Lacs (Burundi, Malawi, Rwanda, République Démocratique du Congo, Tanzanie, Ouganda, Zambie, Kenya) ont rapporté 920 208 cas de choléra soit 32,05% des cas rapportés en Afrique sur la même période (2 871 055 cas, Figure 20). Sur la même période, la RDC a rapporté plus de 10% des cas signalés en Afrique (302 338/ 2 871 055 cas) et 32,86 % des cas rapportés dans la région des Grands Lacs. Selon les sources utilisées, le nombre de cas

identifiés peut être sensiblement différent. Si on considère la période 2000 à 2007, la différence de cas de choléra rapportés en RDC signalés par l'OMS (149 659 cas) et la DLM (182 095 cas) est de 32 436, soit 18% de cas en plus rapportés par le système de surveillance national par rapport aux cas notifiés par l'OMS.

Sur la même période (2000-2007), la RDC a représenté selon l'OMS, 20% du nombre de décès par choléra rapportés dans la région des Grands Lacs (5 602/27 909). Les données de la DLM aboutissent à un chiffre de 25% (6 885 décès/27 909) soit là encore, une différence de 18% du nombre de décès entre les notifications de la DLM et celles de l'OMS.

L'étude de l'évolution temporelle du choléra dans la région des Grands Lacs africains, montre que les plus importantes flambées épidémiques ont été observées en 1972, 1982, 1992, 1994, 1998, 2002, 2006 (Figure 21). Certaines de ces flambées épidémiques se sont déroulées durant des années caractérisées par la survenue du phénomène El Niño. C'est par exemple le cas des épidémies de 1978, 1992, 1994, 1998, 2002 et 2006. Cependant d'autres années El Niño n'ont pas donné lieu à des flambées particulières (1972, 1974, 1983, 1988).

Le recul est cependant insuffisant pour établir formellement le lien entre les flambées et les années El Niño et les tests statistiques n'ont pas permis de mettre en évidence une liaison significative entre ces deux phénomènes. Les analyses en composantes factorielles réalisées ont, en revanche, montré une synchronisation dans la dynamique des cas de choléra entre les différents pays de la région des Grands Lacs (Figure 22).

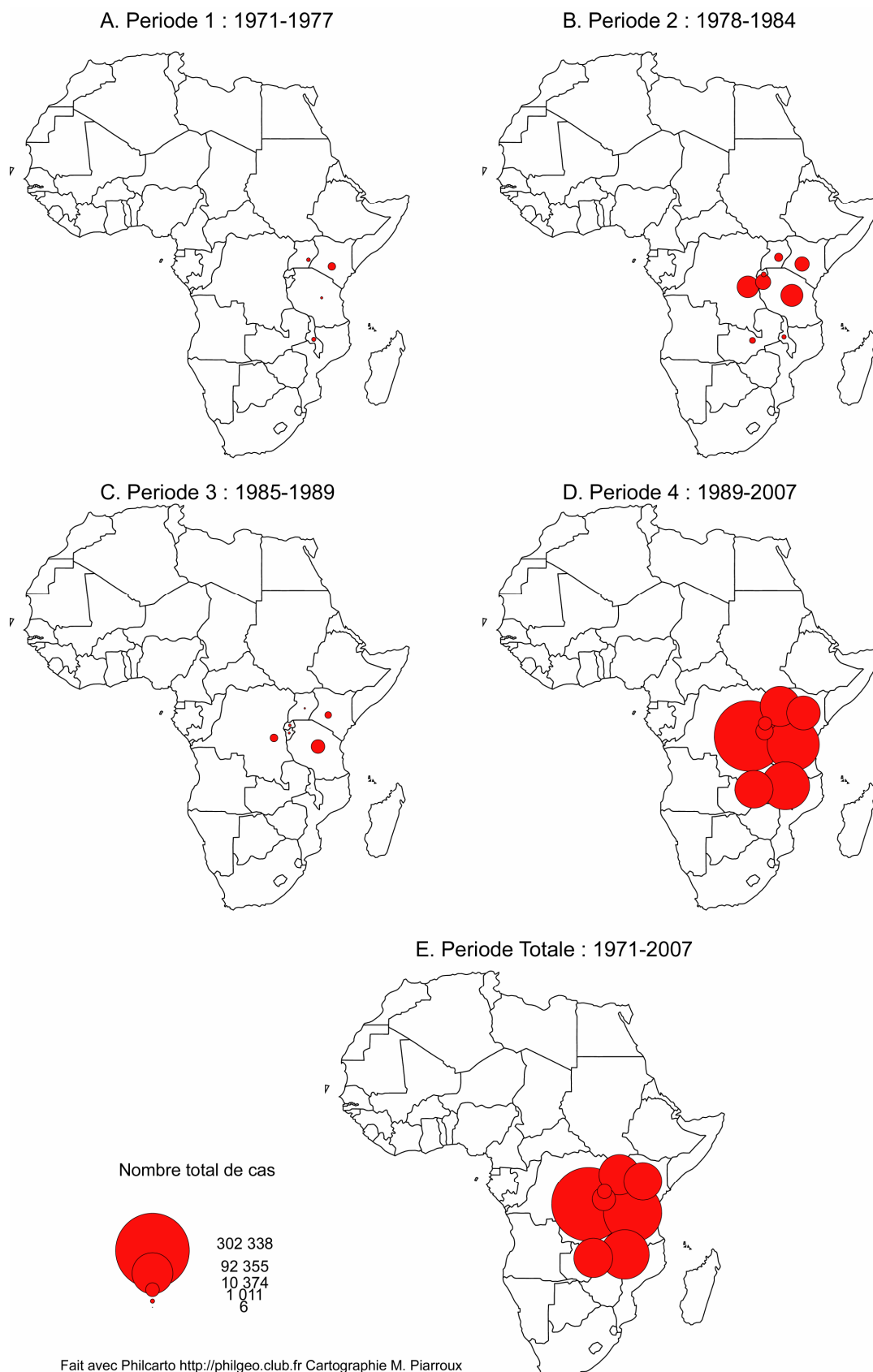


Figure 20 : Répartition spatiale du Choléra dans huit pays de la région des Grands Lacs, de 1971 à 2007

Ces cartes représentent le nombre de cas cumulés de Choléra sur différentes périodes évolutives dans huit pays de la région des Grands Lacs africains (RDCongo, Burundi, Rwanda, Tanzanie, Zambie, Ouganda, Malawi, Kenya). A- période 1971-1977 ; B- période 1978-1984 ; C- période 1985-1988 (une grande période d'accalmie) ; D- période 1989 à 2007 ; E- ensemble de la période 1971-2007.

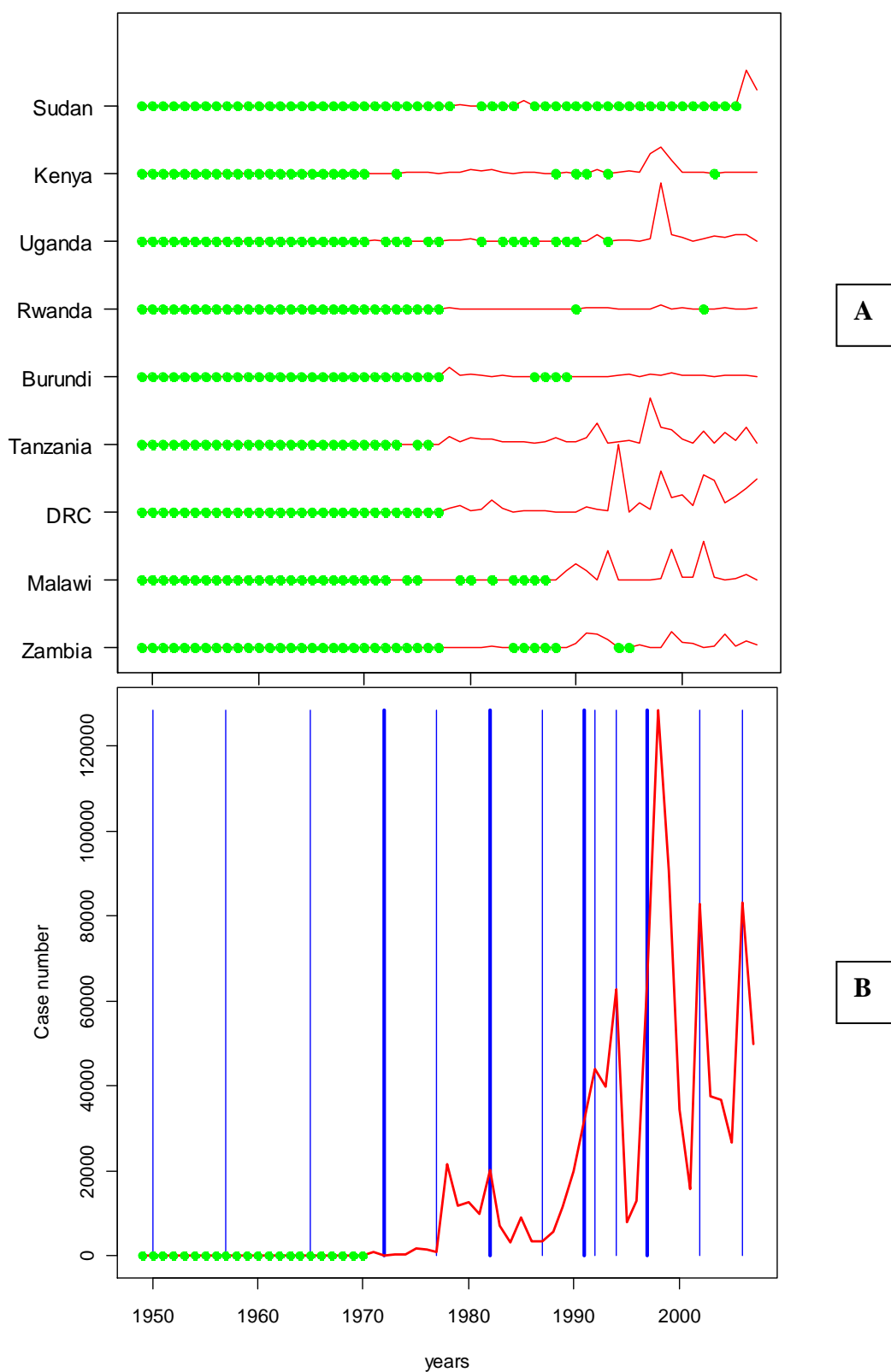


Figure 21 : Série temporelle annuelle des cas de choléra dans huit pays de la région des Grands Lacs, 1971 à 2007

Cette série compile les données des huit pays suivants : RDC, Burundi, Rwanda, Tanzanie, Zambie, Ouganda, Malawi, Kenya.

A- Séries temporelles par pays. B- Série temporelle de l'ensemble de la région vu globalement.

Dans l'ensemble de la région des Grands Lacs africains de 1970 à 2007, plusieurs années de grandes flambées épidémiques correspondaient avec les années El Niño (barres bleue).

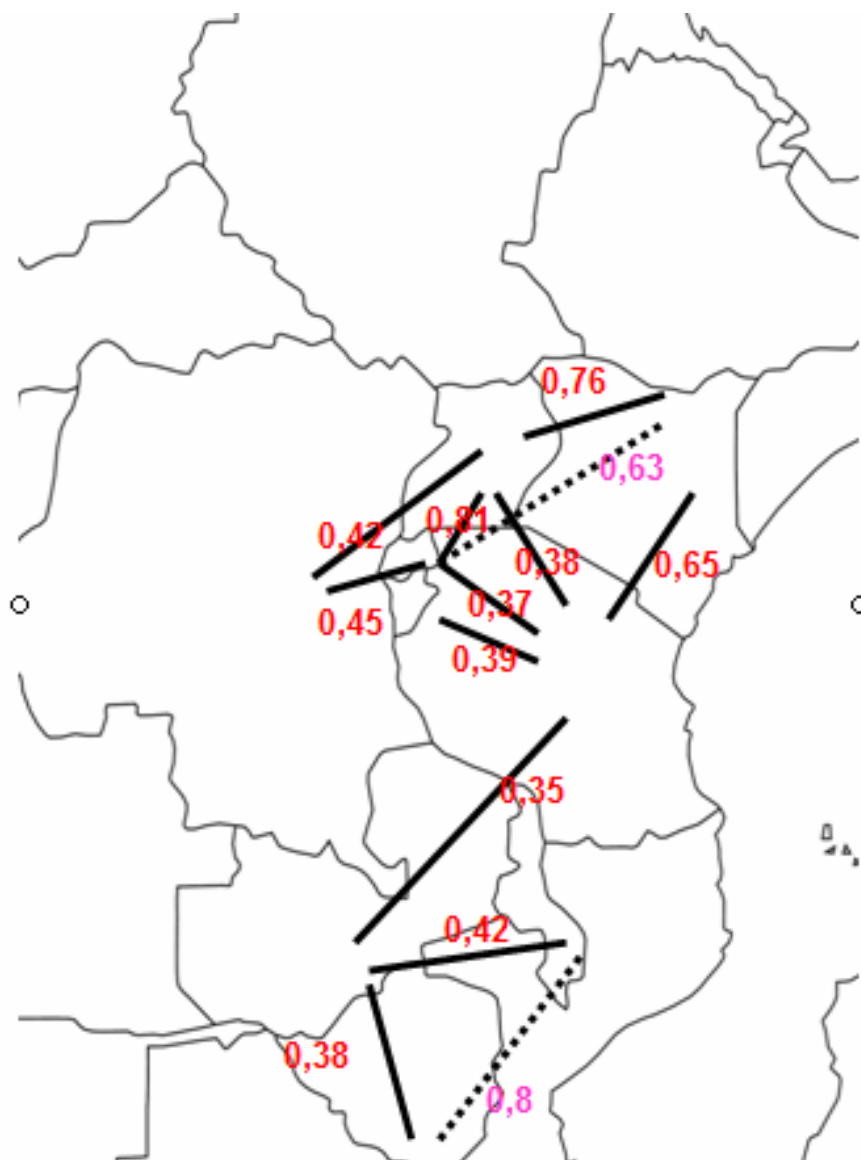


Figure 22 : synchronisation de la diffusion du choléra dans la région des Grands Lacs.

Cette figure illustre les relations entre pays partageant une frontière commune : En noir, les corrélations croisées sans décalage temporel, en noir et flèche les corrélations avec décalage temporel (le chiffre représente le nombre d'années de décalage, et la flèche le sens supposé du décalage); en rouge, la même chose mais avec les log du nombre de cas (+1 pour éviter les log de zéro).

Historique du choléra en RDC de 1973 à 2008

D'après les rapports analysés à la 4^{ème} Direction et les témoignages recueillis sur le terrain, **les premiers cas de choléra en RDC ont été rapportés en 1974**. La province du Bas Congo, la seule à avoir une ouverture sur le littoral océanique, a été la première à rapporter une épidémie de choléra. Les cas index seraient venus de l'Angola, par le district du Mayombe (frontalier de l'Angola). Cette première épidémie est restée circonscrite au Bas Congo et principalement dans le district du Mayombe. La même année 1974, des cas secondaires ont été signalés dans la capitale Kinshasa, reliée au Bas Congo par la route et le chemin de fer. Par la suite, la situation semble s'être normalisée puisque, entre 1975 et 1976, il n'y a plus eu de cas de choléra rapportés en RDC.

En septembre 1977, à l'est de la RDC, le choléra a frappé la cité lacustre de Kalemie située sur la rive occidentale du lac Tanganyika. Les cas index sont arrivés de Tanzanie (de la ville de Kigoma sur la rive orientale du Tanganyika). La première patiente à être admise pour choléra à l'Hôpital Général de Kalemie était une dame, âgée d'environ 40 ans, commerçante, en provenance de Kigoma. Le diagnostic de choléra a pu être confirmé grâce à des échantillons de selles envoyés pour analyses à l'Institut de Médecine Tropicale d'Anvers. Suite à cette épidémie en septembre 1977 dans la ville de Kalemie, le choléra a rapidement diffusé dans l'est de la RDC.

Au début de l'année 1978, les premiers cas ont été rapportés dans la ville d'Uvira, à l'extrémité nord du Tanganyika (au Sud-Kivu). Les premiers patients provenaient de la ville de Kalemie. Après Uvira, toujours en 1978, le choléra a touché l'île d'Ibindja dans la zone de Katana sur la rive occidentale du lac Kivu provoquant en quelques semaines 4 500 cas avec 145 décès. Les villes de Goma et de Bukavu ont également été touchées par cette flambée.

A partir des années 1980, les provinces du Kivu et du Katanga ont rapporté des cas de choléra survenant à l'occasion de brèves flambées épidémiques. En 1981, une nouvelle importante flambée épidémique survient à Kalemie et s'étend sur le district du Tanganyika. Elle diffuse ensuite vers le nord et touche Uvira, Bukavu, Katana, Goma, puis vers l'ouest et touche la région des lacs centraux du Katanga (de Bukama à Mulongo, qui connaît ainsi ses premiers cas de choléra). Dans cette zone, les premiers cas de choléra sont rapportés en août 1981 autour du Lac Upemba, situé au nord-est de Bukama jusqu'au Lac Kibala près de Mulongo. Le cas index était un homme en provenance de Kalemie. La première localité à être touchée était Kilumbe, située en bordure du lac Upemba (actuellement dans la zone de Butumba).

Après Kilumbe, des cas ont été rapportés à Katoto (à 3 km de la cité de Bukama, dans l'aire de santé de Kisanga wa Bioni). De Katoto, l'épidémie a rapidement diffusé aux villages voisins avant de toucher toute la cité de Bukama. Trois infirmiers ayant participé à la prise en charge de cette épidémie et rencontrés plus tard dans le cadre de notre thèse ont évoqué une épidémie de très grande ampleur. D'après le témoignage de ces infirmiers, l'épidémie a duré toute une année jusqu'en juillet 1982. *« L'ampleur de l'épidémie était telle que tout le personnel de l'hôpital général de Bukama avait été réquisitionné pour la prise en charge des cas de choléra. La létalité était très importante, il mourrait dans le centre de traitement au moins 18 à 20 patients par jours. Parmi les décès, que nous*

regrettons tous, nous nous souvenons encore de notre collègue Mwepu Mpenge Timothée, qui avait contracté la maladie dans le centre de traitement de choléra installé à l'hôpital général de Bukama ».

Cette flambée de 1981-1982, a touché également les grandes villes du Sud Katanga comme Lubumbashi, Likasi et Kolwezi. Puis, la situation s'est calmée ensuite jusqu'en 1987, date où une nouvelle flambée de choléra a diffusé sur toute la région Est de la RDC, de Kalemie à Bukama, et de Goma à Bukavu.

Les années 1990 à 1992 ont été marquées par une série d'épidémies de choléra qui ont affecté les deux provinces du Kivu et le Katanga. A cette époque, le choléra a diffusé encore plus loin atteignant les zones de santé de Kilwa, Kasenga et Pweto (autour du lac Moero au Katanga) et les zones de Rethy, Tchomia et Angumu (autour du lac Albert, en Province Orientale dans le district de l'Ituri). La province du Kasai Oriental a rapporté ses premiers cas de choléra en 1992 à Mwene Ditu, une ville qui relie le Kasai Oriental au Katanga (Bukama et Kamina) par le chemin de fer. Ces cas de choléra ont été rapportés dans des camps de transit des « refoulés du Katanga ». L'isolement des camps (loin de la cité) et la bonne prise en charge des premiers cas de choléra dans le camp par les équipes de MSFB, ont permis de circonscrire cette épidémie, évitant ainsi sa diffusion dans les quartiers de Mwene Ditu. Toute l'année 1993, de brèves flambées épidémiques de choléra sont rapportés dans tout l'est de la RDC.

Fin juin 1994, lorsque les premiers réfugiés Rwandais ont commencé à arriver à Goma ainsi que dans d'autres zones frontalières des deux Kivu, des cas de choléra étaient déjà rapportés à Goma, Kirotshe, Katana et Bukavu. L'épidémie n'a donc pas débuté avec l'arrivée des réfugiés. **En juillet 1994, l'afflux massif des réfugiés Rwandais à Goma dans une zone déjà touchée par le choléra, a exacerbé la situation épidémique déclenchant ce qui est considéré encore aujourd'hui comme la plus meurtrière des épidémies de choléra de ces cent dernières années.** Cette épidémie de choléra a en effet causé des dizaines de milliers de décès dont 12 000 en moins d'une semaine. (2) Par la suite, les épidémies de choléra, quoique de moindre ampleur, se sont succédées à un rythme de plus en plus soutenu sur les rives congolaises des lacs Kivu et Tanganyika, où des cas sont maintenant rapportés en permanence.

Parallèlement, la situation est restée calme dans la partie ouest du Congo à l'exception de quelques flambées épidémiques de moyenne importance signalées dans la province du Bas Congo en 1996 et surtout de l'épidémie de Kinshasa de 1996. Dans cette ville (environ cinq millions d'habitants à l'époque), la première flambée s'est déroulée de février à juillet 1996, avec 1 525 cas et 93 décès, soit une létalité de 6%. A Kinshasa, les flambées épidémiques débutaient souvent dans le quartier Kingabwa (en bordure de la rivière Ndjili et du fleuve Congo), dans la commune de Nsele (nord de Kinshasa au bord du fleuve) mais d'autres flambées épidémiques de moindre amplitude ont aussi eu pour point de départ des camps militaires situés parfois non loin des quartiers populaires (camp Kibomango et camp Nsele).

Les résultats des enquêtes réalisées à l'époque avaient permis de mettre en évidence le rôle de sources des épidémies joué par des canaux et des rivières, véritables égouts à ciel ouvert qui se jettent dans le fleuve Congo. En outre, des analyses bactériologiques réalisées sur les eaux de ces ruisseaux avaient permis d'isoler *Vibrio cholerae* O1. Les rapports d'investigation des flambées épidémiques à Kinshasa ont mis

en évidence les facteurs de risque suivants, identifiés par des études cas-témoins : le fait de travailler sur le fleuve (pêcheurs, transporteurs, ...) ou d'exercer une activité sur le port, le fait de vivre dans un ménage de pêcheurs (sur le fleuve). Ainsi on dénombrait 11,2% (16/127) de pêcheurs dans les ménages des patients contre 4,2% (17/387) chez les témoins ($p=0,001$).

De même, une activité dans le port constituait un facteur de risque : 12% (17/124) des patients souffrant de choléra avaient des activités au port contre 3% (14/387) chez les témoins. Les investigations avaient aussi montré que certains des cas transitant des ports et des quartiers riverains du fleuve Congo à Kinshasa provenaient des localités situées plus en amont du fleuve (Mossaka, Lukolela, Mbandaka), à la faveur des mouvements de bateaux de commerce. Sur le plan biologique, ces épidémies étaient toutes dues au *Vibrio cholerae* O1 serotype Inaba, sensible à la plupart des antibiotiques dont les tétracyclines. La mobilisation des acteurs de terrain parmi lesquels le pool d'urgence Congo de Médecins Sans Frontières Belgique avait permis d'améliorer considérablement la prise en charge des cas (moins de 1% de létalité), sans pourtant parvenir à endiguer les cas résiduels dans les quartiers situés en bordure du fleuve et de rivières comme Kingabwa, Nsele, Barumbu et Ndjili.

En 1998, une nouvelle flambée épidémique touche les provinces du Katanga et des deux Kivu. A cette période, ce qui est appelé « *la deuxième guerre en RDC* » vient de diviser le pays en deux parties, une zone gouvernementale et une autre dite rebelle. D'importants mouvements de populations sont observés à travers tout le pays. Des contingents de militaires sont transportés par avion d'une zone vers une autre. A Kinshasa une nouvelle épidémie débute à partir vraisemblablement de cas index venus par avion de l'est de la RDC. A partir de ces cas index, l'épidémie s'est rapidement propagée dans toute la ville. Les zones de la ville les plus touchées étant Kingabwa, Maluku, Nsele, Lingwala, Barumbu, Limete, Kinshasa. Le problème du choléra à Kinshasa n'a finalement été réglé qu'à la suite de travaux de curage dans les principaux égouts de la ville en 1999. Ces travaux avaient été décidés suite aux orientations données par une étude épidémiologique effectuée par la 4^{ème} Direction du Ministère de la Santé Publique, et l'ONG Epicentre (financé par l'Union Européenne). Cette étude avait montré que le fait d'habiter à proximité des égouts à ciel ouvert augmentait nettement le risque de contracter la maladie.

En 1999, la ville de Bandundu, située à 400 km à l'est de Kinshasa et plusieurs autres villes de la province du même nom (dont Kikwit, Mushie, Nioki) ont à leur tour été touchées par des flambées épidémiques de choléra. Les premiers cas ont été rapportés dans la ville de Bandundu parmi une population de militaires en provenance de l'est de la RDC et regroupés dans des camps situés près du port de Bandundu, au bord de la rivière Kwilu. L'épidémie s'est déclenchée d'abord dans le camp parmi les militaires avant de diffuser dans toute la cité de Bandundu. Cette épidémie qui a duré jusqu'en fin 2000, a causé environ 540 cas et près d'une trentaine de décès dans la ville de Bandundu.

La flambée de choléra dans la ville de Bandundu (située au confluent des rivières Kasai et Kwilu) s'est propagée vers d'autres zones de la province du Bandundu. C'est ainsi que la même année (1999) des cas de choléra ont été rapportés à Mushi, à Nioki et à Inongo. Là, l'épidémie a été très brève, durant de septembre à octobre 2000, et faisant 49 cas et 9 décès soit une létalité de 18,4%. Les cas index étaient des sujets partis dans les

villages voisins de Nioki pour une manifestation funéraire. En 2001, les dernières investigations sur des cas suspects de choléra avaient révélé d'autres causes de diarrhée comme des toxi-infections alimentaires et des diarrhées à *Escherichia coli*.

Depuis 2001, la situation est particulièrement calme dans tout l'ouest du Congo avec seulement quelques épisodes limités liés à l'importation de cas dans les provinces du Bas Congo et du Bandundu, à partir de l'Angola, en 2006 et 2007, et à Kinshasa à partir du Congo Brazzaville en 2007. Au Bandundu, l'épidémie a touché les zones de santé de Tembo et Kahungula, (deux zones de santé frontalières de l'Angola). Les premiers cas ont été rapportés dans des villages abritant des gisements de diamants immergés dans les rivières qui font office de frontière naturelle entre l'Angola et la RDC. Ces villages sont un lieu de rencontre entre des populations vivant en Angola et d'autres vivant en RDC.

Au Bas Congo, la dernière flambée de choléra a été rapportée dans les zones de Kitona et de Moanda en 2007. A Kinshasa, quelques cas de choléra (moins d'une dizaine) ont été signalés en 2007. Ils provenaient de Brazzaville où une épidémie sévissait depuis quelques semaines suite à la diffusion de la flambée épidémique de Pointe Noire (Congo Brazzaville). L'épidémie de Pointe Noire (début en novembre 2006) était elle-même consécutive à la flambée de choléra partie d'Angola. En 2008, seules trois zones de santé du Bas Congo ont rapporté 15 cas de choléra (sans décès).

A l'Est, en revanche, les épidémies de choléra ont persisté. Entre 2000 et 2001, des flambées de choléra ont été signalées au Kivu (dans les zones de santé de Goma, de Kirotshe, de Bukavu, de Uvira de Fizi), et au Katanga. Dans cette province, les cas les plus nombreux ont été rapportés dans les zones de Kilwa, de Kasenga et de Pweto (autour du lac Moero, à la frontière zambienne). Dans la même période, plusieurs flambées de choléra ont été signalées dans les villes du sud du Katanga (Lubumbashi, Likasi et Kolwezi). Les investigations conduites à Lubumbashi et à Likasi avaient alors montré que les cas index des épidémies survenues dans ces villes provenaient souvent des zones de santé de Kasenga et de Kilwa, près du lac Moero.

En 2002, une grande flambée épidémique s'est propagée sur une grande partie du Katanga et des trois autres provinces de l'est de la RDC (Maniema, Province Orientale et Kasai Oriental). Les enquêtes menées au Katanga lors de ces épidémies ont mis en évidence le rôle des inondations comme facteurs déclenchant, le rôle des rites funéraires et autres pratiques liées aux us et coutumes dans la diffusion et l'amplification des épidémies de choléra, ainsi que le rôle, dans la persistance des épidémies, des campements situés sur des îlots flottant sur le lac fréquentés par des populations de pêcheurs et de commerçants. Les enquêtes menées à l'époque avaient également permis de mettre en évidence le rôle desdits 'sorciers' dans le déclenchement et la diffusion des épidémies de choléra. Ainsi, dans les zones de santé lacustres de l'Est, une pratique consistant à mener au bûcher des personnes suspectées d'être à l'origine d'évènements s'accompagnant d'une létalité inhabituelle était très courante.

Dans ces zones (qu'elles soient urbaines ou rurales), chaque situation de catastrophe entraînant de nombreux décès (épidémie, catastrophe naturelle, naufrage d'embarcation...), était volontiers considérée comme un fait de sorcellerie par la population. En général, les boucs émissaires étaient des femmes âgées accusées de pratiquer la sorcellerie. Ainsi, sur fond de cette pratique ancrée dans ces sociétés, à chaque

démarrage d'une flambée épidémique de choléra, de vieilles femmes accusées de sorcellerie sont souvent prises à partie, battues et parfois brûlées vives. Ces pratiques se poursuivent encore dans les zones rurales reculées et même parfois dans les zones urbanisées. L'historique de l'épidémie de Mbuji Mayi au Kasai Oriental en fournit une illustration.

En septembre 2002, après 10 ans sans choléra, le Kasai Oriental est à nouveau touché par une grande épidémie de choléra. Le 30 septembre 2002, une alerte est lancée dans la ville de Mbuji Mayi à la suite d'une série des décès survenus dans la même famille. Une mission d'investigation diligentée dans le cadre du Programme Urgence Congo, se rend sur place pour établir un diagnostic et prendre les premières mesures. Très vite, les investigations font apparaître qu'il s'agit d'une flambée de choléra consécutive à un rite destiné à identifier un éventuel sorcier. Ce rite traditionnel consistait à faire boire aux membres de la famille suspectés d'être à l'origine de la mort d'une personne (en fait décédée de choléra), de l'eau dans laquelle avaient été trempés les vêtements et sous-vêtements du défunt. Des 24 personnes soumises au breuvage, 9 connaîtront un épisode de diarrhée entraînant le décès de 5 d'entre eux dans les 24 heures. L'homme, dont la mort avait déclenché ce rite macabre, était un adulte résidant dans le village Kapiandolu situé à 50 km au nord de la ville de Mbuji Mayi dans un axe très fréquenté par les habitants qui font des navettes entre Mbuji Mayi et les mines de diamant.

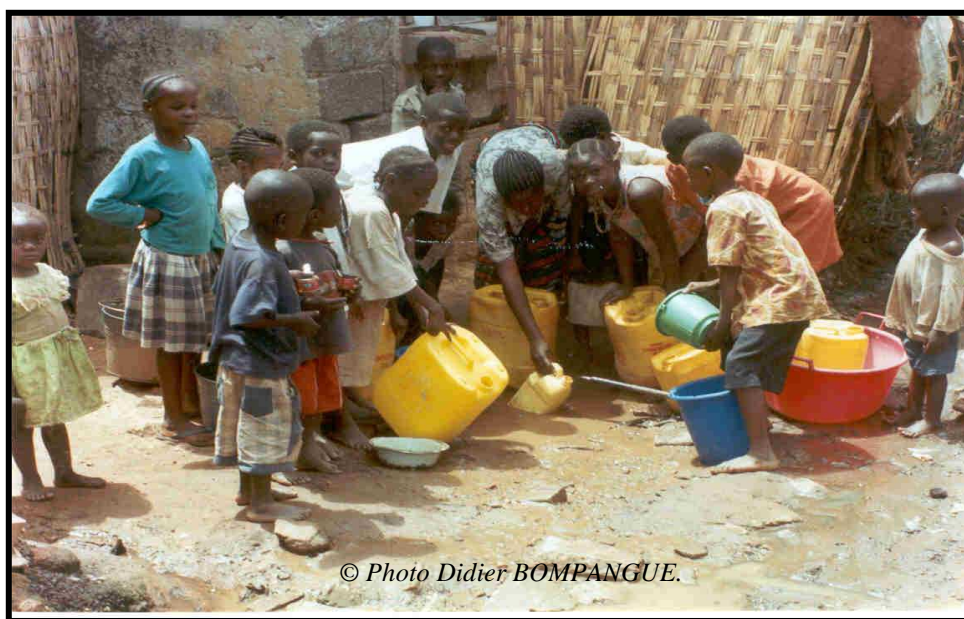
En recherchant les antécédents de l'homme de Kapiandolu, l'équipe d'investigation a découvert que le décès de cet homme avait été précédé du décès de sa compagne survenu le 19 septembre 2002, dans un tableau de diarrhée profuse d'installation rapide. L'entourage de cette personne signale en outre qu'elle avait fait la toilette mortuaire d'une autre femme, elle aussi décédée dans un tableau similaire quelques jours auparavant. Enfin, l'enquête établit que cette dernière était une commerçante, tout juste rentrée de Bukama (au Katanga) où elle s'était rendue pour acquérir du poisson séché. Or Bukama connaissait à l'époque, une très importante épidémie de choléra, touchant particulièrement les pêcheurs. Le diagnostic de choléra est évoqué devant cette flambée de cas de diarrhée sévère survenus après ce rite macabre et des échantillons des selles seront prélevés, lesquels permettront la mise en évidence le *Vibrio cholerae* sérotype Ogawa, sensible aux antibiotiques usuels (Ampicilline, Tétracycline, Chloramphénicol, Doxycycline, Norfloxacin, Ciprofloxacine), et résistant à l'acide Nalidixique.

L'épidémie qui a touché le Kasai Oriental a surtout concerné la ville de Mbuji Mayi et quelques zones rurales où s'effectue l'exploitation artisanale de diamant. En deux ans, entre la semaine 38 de 2002 (fin septembre) et la semaine 40 de 2004 (mi-octobre), cette épidémie a fait au total 9 767 cas et 571 décès soit une létalité de 5,84%. Les hommes étaient plus concernés que les femmes (sexe ratio de 1,6), l'âge médian était de 36 ans (extrême : 14 et 80 ans). 98,5% des patients étaient âgés d'au moins 17 ans. Les investigations conduites au cours de cette épidémie ont été l'occasion de rechercher les facteurs de risque susceptibles d'expliquer la persistance de l'épidémie malgré une lutte intensive. C'est ainsi que le rôle des zones minières et du mode de vie des mineurs traditionnels dans ces zones a pu être mis en évidence.

En RDC, l'exploitation artisanale des minerais est libéralisée depuis quelques décennies. Les principales mines fréquentées par les populations sont les mines de

diamant (au Kasai Oriental), pour les mines de coltan et dans une moindre mesure les mines d'or (dans les deux Kivu), les mines de cuivre ou de cobalt (au Katanga). Chaque nouveau gisement de minerai découvert (et n'appartenant pas une grande entreprise), peut être pris d'assaut par plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de milliers de personnes (mineurs artisanaux et commerçants). En quelques jours, des villages de quelques dizaines d'âmes se transforment en de véritable « cités » minières très densément peuplées, où les ressources en eau potable et les conditions d'assainissement sont très insuffisantes.

C'est dans ces conditions que se déclenchent souvent de grandes flambées épidémiques de choléra dans les zones minières de ces provinces. A Mbuji Mayi, la découverte successive, à quelques semaines d'intervalle, de plusieurs nouveaux gisements miniers a entretenu les épidémies qui sont passées ainsi d'un foyer à un autre. Cette situation a rendu particulièrement difficile le contrôle du choléra au Kasai Oriental et explique pourquoi l'épidémie a duré de septembre 2002 à avril 2004. Ce n'est donc qu'après deux ans que des actions de lutte spécifiques, dont la chloration régulière à domicile suivant un plan de porte à porte (avec l'aide des volontaires de la Croix Rouge) et la surveillance active des nouveaux foyers au niveau des « villages-miniers », ont permis de venir à bout de cette épidémie.



© Photo Didier BOMPANGUE.

Figure 23 : Population de Lubumbashi et problématique de l'eau dans les quartiers populaires.

Par manque de pression au niveau du réseau de distribution d'eau potable, les populations ont pris l'habitude de perforer les canalisations et à prendre l'eau dans des sortes de « robinet-puits » appelés en langage local « *Kishimpo* » (contraction de deux termes swahilis *Kishima* (puits) et *pompi* (robinet)). Ces ouvrages de fortune mettent en contact l'eau du réseau et celle du milieu extérieur souvent souillée surtout lors des périodes de grandes pluies.

Les années 2003, et surtout 2004 et 2005, ont été des années plus calmes, avec une baisse marquée des cas de choléra rapportés en RDC. Seules, les provinces de l'est du pays et, dans ces provinces, essentiellement des zones lacustres, ont été concernées par le choléra. A partir de 2006, le choléra a de nouveau connu une période d'expansion, concernant presque exclusivement les provinces du Kivu et du Katanga.

C'est dans ce contexte qu'une grande flambée s'est déclenchée à partir de septembre 2007 à Lubumbashi puis dans les villes minières du sud du Katanga. Cette flambée a, comme les précédentes, eu pour origine les zones lacustres du Katanga. En l'occurrence, elle avait débuté au niveau du lac Moero. Les premiers cas ont diffusé à partir de Kasenga, il s'agissait de commerçants venus vendre du poisson séché et salé. Dans les grandes villes comme Lubumbashi, il a été noté une répartition très hétérogène du choléra. Les épidémies débutaient souvent dans des quartiers comme Kenya ou Rwashi. Le quartier Kenya se caractérise par la présence du plus grand marché populaire de la ville, c'est dans ce marché que l'on trouve la principale gare routière, terminus des grands véhicules de commerce provenant des zones lacustres de Kasenga et de Kilwa. Les quartiers populaires de Lubumbashi se caractérisent par une destruction avancée des réseaux de distribution d'eau potable.

Les difficultés de la compagnie nationale de production et de distribution des eaux (REGIDESO) sont telles que l'eau est distribuée avec un système dit de délestage. Lorsque l'eau est distribuée, les nombreuses fuites survenues dans le réseau suite à l'usure des canalisations (datant pour la plus part de l'époque coloniale ou de la fin des années 1980), engendrent une très faible pression à la sortie au niveau des pompes des usagers. De plus, les populations ont pris l'habitude de perforer les canalisations et à prendre l'eau dans des espèces de « robinet-puits » appelés en langage local « *Kishimpo* » (contraction de deux termes swahilis *Kishima* (puits) et *pompi* (robinet) (Figure 23). Les faibles pressions dans les canalisations perforées facilitent la contamination du réseau en particulier en saison des pluies.

L'année 2007 a aussi été marquée par une forte flambée de choléra responsable, en quelques jours, de près d'une centaine de décès. Cette flambée survenue dans le village de Kisengo dans la zone de santé de Nyunzu, district du Tanganyika, province du Katanga, est caractéristique des liens entre le choléra et l'exploitation minière « sauvage ». L'épidémie a en effet été déclenchée lorsque, autour du village de Kisengo (hameau de moins de 20 cases situé à 175 km à l'ouest de Kalemie), du coltan a été découvert. En quelques jours la population de ce hameau a explosé et il a été dénombré dans ce foyer minier jusqu'à 50 000 personnes (creuseurs artisanaux, commerçants essentiellement) dont 3 000 enfants. C'est ainsi qu'en fin septembre 2007, 92 décès de choléra ont été rapportés en une semaine. Il a fallu un mois pour venir à bout de cette épidémie (Figure 24).



A



B

© Photos Didier BOMPANGUE, obtenues auprès d'un particulier présent sur les lieux au début de la flambée, avant l'arrivée de l'assistance extérieure et internationale.

Figure 24 : Mineurs artisanaux victimes de choléra dans le village- camp minier de Kisengo, zone de santé de Nyunzu, Katanga en 2007

A- Deux mineurs atteints de choléra se faisant perfuser à même le sol dans une case par un autre mineur (secouriste de la croix rouge).
B- Un cadavre de mineur récemment décédé de choléra, et attendant d'être enterré par les autorités locales (car sans famille sur le lieu)

Identification des déterminants temporels et spatiaux du choléra en RDC de 2000 à 2008

Données générales

De 2000 à 2008, 208 875 cas et 7 335 décès ont été rapportés, soit une létalité globale de 3,51%. **La tendance générale est à la reprise des flambées épidémiques depuis fin 2005 après une phase d'accalmie entre 2003 et 2004. (Figure 25)**

Durant la même période, les résultats des analyses biologiques de 634 prélèvements de selles ont pu être retrouvés au laboratoire des maladies à potentiel épidémique de l'Institut National de Recherche Biomédical (INRB) de Kinshasa. Ces analyses ont permis de confirmer la présence de *Vibrio Cholerae* dans 42,3% des échantillons (266 positifs sur 634).

Il s'agissait de *Vibrio cholerae* de serotypes Inaba et Ogawa principalement. Le sérotype Hikojima a été isolé dans certaines flambées épidémiques rapportées en Province Orientale. D'autres analyses ont mis en évidence la présence de souche Non O1. Les souches isolées ces dernières années étaient sensibles à la ciprofloxacine, l'érythromycine et à l'acide nalidixique. En revanche, elles étaient souvent résistantes à la tétracycline, l'ampicilline et au cotrimoxazole.

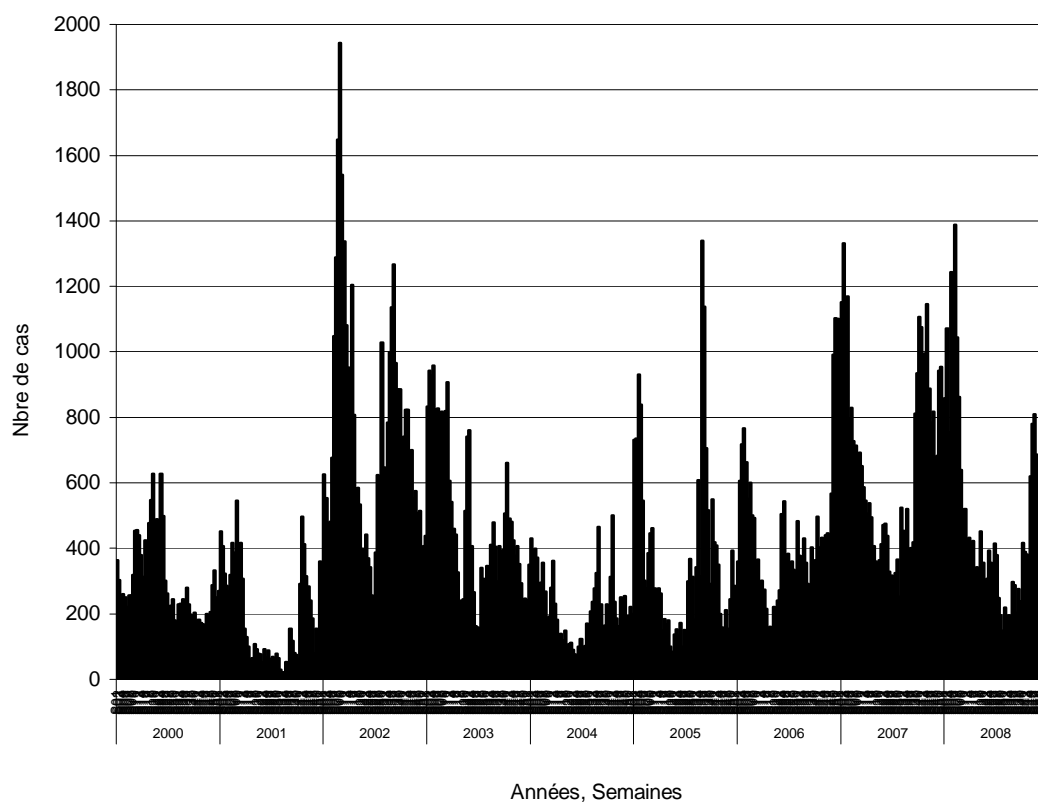


Figure 25 : Série temporelle hebdomadaire des cas de choléra dans l'est de la RDC de 2000 à 2008.

Cette série est composée de cas de choléra rapportés dans les zones de santé situées dans les provinces du Kasai Oriental, du Katanga, du Sud-Kivu, du Nord-Kivu et de la Province Orientale entre 2000 et 2008. Le pic épidémique le plus important a été observé en 2002 lors des très grandes épidémies de choléra au Katanga et au Kasai Oriental (en fin 2002 et 2003).

Etude de la répartition spatiale du choléra à l'est de la RDC

A l'échelle du pays, la distribution spatiale du choléra en RDC révèle une forte hétérogénéité spatiale au niveau de la répartition par province. (Figure 26). Les taux d'attaque les plus importants sont observés dans les provinces de l'est de la RDC en général et principalement au Sud-Kivu, au Katanga et au Nord-Kivu (Tableau III).

Pour la période 2000-2008, l'incidence annuelle observée était en moyenne de 27 cas pour 100 000 habitants pour l'ensemble du pays. A l'ouest de la RDC, cette incidence variait entre 0,5 et 1,4 cas pour 100 000 habitants contre une incidence moyenne de 47,3 cas pour 100 000 habitants. A l'inverse, les létalités les plus importantes étaient observées dans les provinces de l'Ouest. A l'Est, c'est au Katanga et en Province Orientale que les létalités les plus importantes ont été rapportées (Tableau IV).

En changeant d'échelle, l'hétérogénéité spatiale constatée au niveau provincial est retrouvée également à l'échelle des zones de santé. Les zones de santé situées autour des zones lacustres et celles situées dans les zones urbaines (sud du Katanga, autour de Lubumbashi) ont rapporté les taux d'attaque les plus importants. Au Katanga comme dans les deux Kivu, certaines zones de santé n'ont pas du tout été touchées par des cas de choléra (à l'exception parfois de quelques cas sporadiques dans un contexte non épidémique). C'est le cas des zones comme Dilolo au Katanga et Shabunda au Sud-Kivu (Figure 27).

Tableau III: Taux d'attaque (pour 100 000 d'hab.) de choléra par province, RDC, 2000 - 2008.

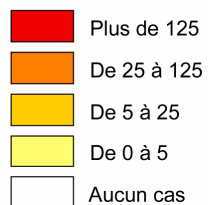
province	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Tamoy/ 100 000 hab.
Sud-Kivu	140,5	58,3	118,3	83,9	68,7	81,9	226,3	206,8	153,6	126,5
Katanga	61,6	40,1	318,1	123,9	39,8	37,3	55,6	183,4	111,3	107,9
Nord-Kivu	153,8	58,2	65,3	59,0	57,8	99,8	102,1	109,2	155,5	95,6
Maniema	15,9	2,9	4,3	0,0	11,9	60,0	26,1	0,0	13,8	15,0
Kasaï Oriental	0,0	0,0	28,6	80,2	12,8	0,3	0,0	0,0	0,0	13,5
Province Orientale	0,9	0,8	19,5	4,1	0,8	27,1	25,0	7,0	14,2	11,0
Kinshasa	15,9	1,8	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,0
Bas Congo	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	0,0	0,6	1,3
Kasaï Occidental	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6
Bandundu	4,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,6
Equateur	3,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4

Tamoy/100 000 hab. : Taux d'attaque moyen pour 100 000 habitants

Tableau IV: Létalité due au choléra par province, RDC, 2000 -2008.

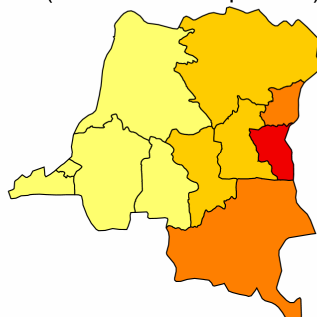
Province	2000	2002	2001	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Létalité globale
Bandundu	17,4	.	21,4	.	.	.	21,4	.	.	16,0
Kinshasa	10,1	25,0	1,0	0,0	.	.	0,0	.	.	9,1
Equateur	6,8	.	0,0	.	.	.	.	.	.	8,2
Bas Congo	8,2	.	.	.	.	.	6,0	.	0,0	6,1
Kasaï Oriental	.	8,8	.	4,9	50,0	.	0,0	.	.	5,8
Katanga	8,4	5,6	9,7	4,0	2,9	3,5	2,8	3,1	2,3	4,5
Province Orientale	2,6	3,8	4,3	3,1	8,2	2,1	4,9	4,2	5,0	4,3
Maniema	5,7	22,5	2,1	.	4,6	4,3	0,5	.	4,4	3,7
Nord-Kivu	6,8	5,7	0,8	4,2	0,8	1,0	1,6	1,1	1,3	3,5
Sud-Kivu	2,4	4,3	1,8	2,1	3,6	1,5	0,8	0,4	0,4	1,5
Kasaï Occidental	.	0,0	.	.	.	0,0	.	.	.	0,3
Total RDC	6,2	5,6	4,7	4,0	3,5	1,7	1,9	2,0	1,7	3,6

Taux d'attaque annuel
(pour 100 000 habitants)

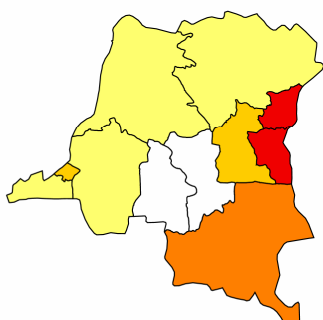


Fait avec Philcarto : <http://philgeo.club.fr>

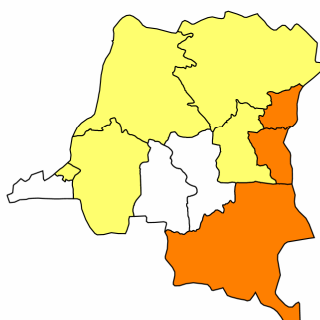
Taux d'attaque annuel moyen
(ensemble de la période)



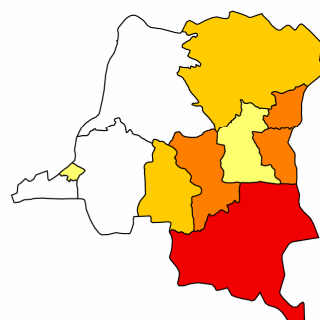
2000



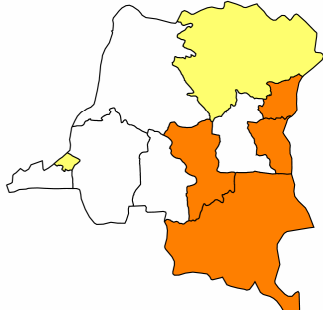
2001



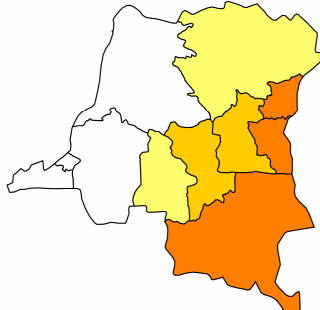
2002



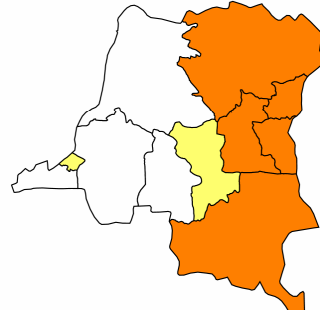
2003



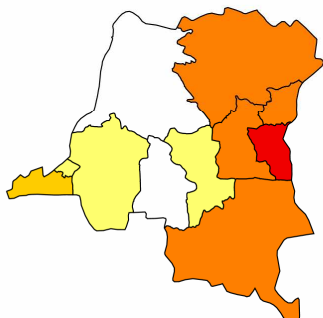
2004



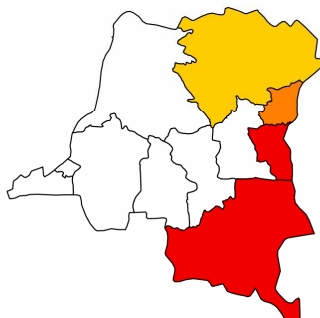
2005



2006



2007



2008

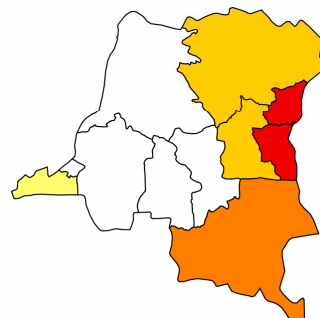


Figure 26 : Taux d'attaque annuel moyen du choléra (pour 100 000 hab.)
par province, RDC de 2000 à 2008

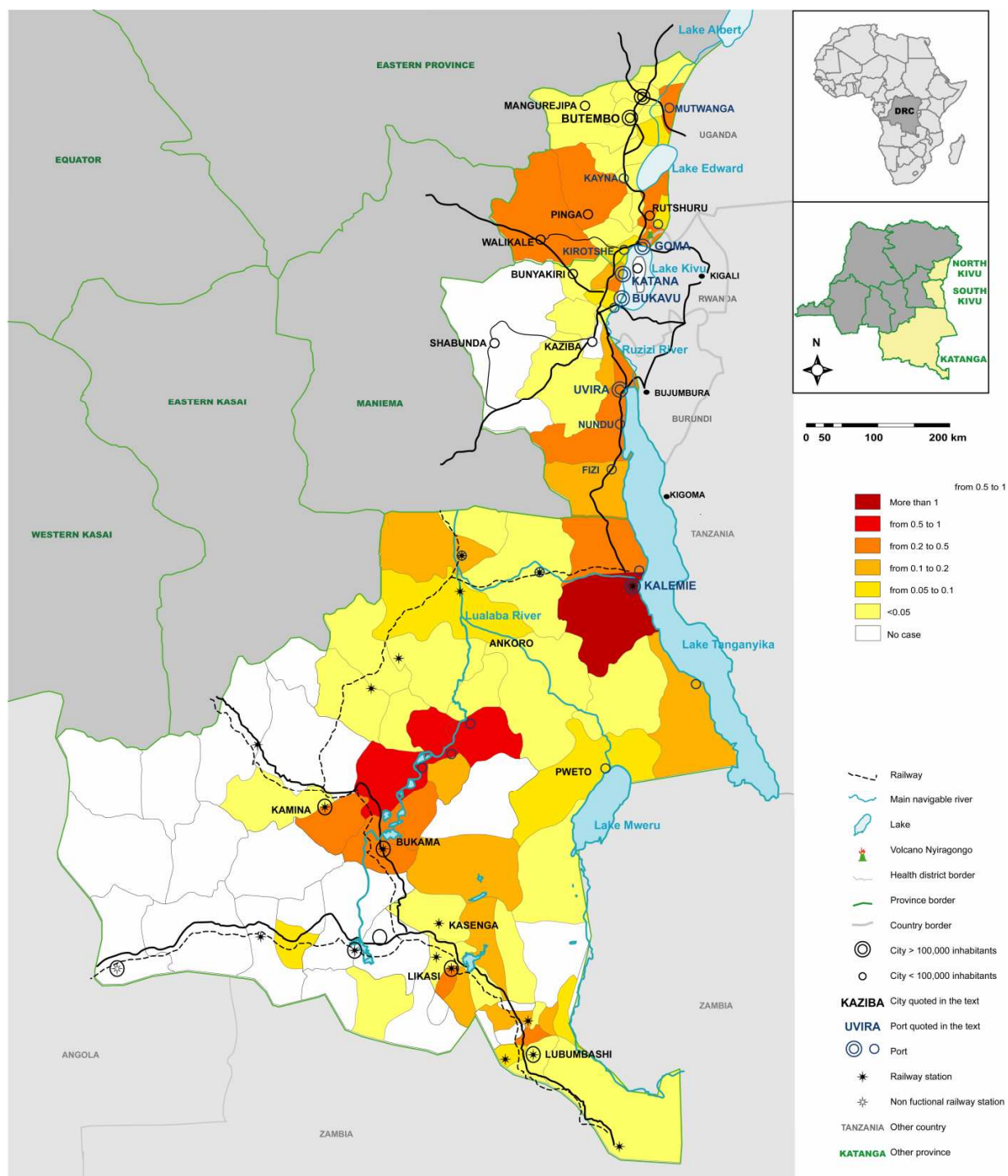


Figure 27 : Taux d'attaque moyen du choléra par zone de santé (pour 100 000 hab.)
Katanga, Sud-Kivu et Nord-Kivu, 2002-2007

On remarque l'existence de zones complètement indemnes de choléra tant au Katanga qu'au Sud-Kivu ou au Nord-Kivu. Les taux d'attaque les plus importants ont été observés autour des zones lacustres.

La Figure 28 montre une répartition hétérogène du choléra dans les provinces du Katanga et du Kasai Oriental. Les zones les plus touchées se localisent autour des régions lacustres (Kalemie, Bukama) et dans les grandes villes comme Lubumbashi et Mbuji Mayi. Les grandes villes éloignées des zones autour des lacs, sont reliées à ces dernières par des réseaux routier et ferroviaire actifs.

Les paramètres environnementaux des zones de santé ont permis à partir d'un modèle binomial négatif de type II, de modéliser le nombre de cas de choléra par zone de santé à travers la formule suivante :

$$nbcas = \logpopulation + \logarea + a.V100kHab + b.axe_routier + c.ports + d.gare + e.lacs$$

où :

logpopulation est le logarithme népérien du nombre d'habitants de la zone de santé,

- **logarea** est le logarithme népérien de la superficie de la zone de santé

- **V100kHab** est le nombre 1 ou 0 signifiant la présence ou non d'une ville d'au moins 100 000 habitants

- **axe routier** : est le nombre 1 ou 0 signifiant la présence ou non d'un axe routier actif reliant la zone de santé à l'extérieur

- **port** : est le nombre 1 ou 0 signifiant la présence ou non d'un port actif dans la zone de santé

- **gare** : est le nombre 1 ou 0 signifiant la présence ou non d'une gare dans la zone de santé

- **lacs** : est le nombre 1 ou 0 signifiant la présence ou non d'un lac dans la zone de santé.

- **a, b, c, d et e** : étant les valeurs des coefficients du prédicteur linéaire pour chaque paramètre environnemental. L'exponentielle de ces coefficients donne l'odds ratio des facteurs correspondants.

Le tableau 1 montre que le nombre de cas de choléra, toute autre variable égale par ailleurs, est significativement plus élevé en cas de localisation en bordure de lac (odds ratio [OR] 7,5 ; intervalle de confiance à 95% [95% CI] 3,92-14,23). De plus, la présence d'une route principale, d'un port et celle d'une gare ferroviaire étaient statistiquement significatives (Tableau 5)

Ce modèle prédictif a été validé par des analyses de permutations permettant de s'assurer que les résultats de la modélisation de la distribution spatiale des cas de choléra ne sont pas biaisés par l'existence d'une structure spatiale sous-jacente (qui rendrait les points de données non-indépendants).

La même démarche appliquée au Katanga et au Kasai Oriental en 2006-2007 montre également une concentration des cas de choléra autour des zones lacustres et dans les deux Kivu (Tableau VI, Figure 29).

Tableau V : Odds ratios et paramètres du modèle de distribution binomiale négative type II des cas de choléra au Katanga et au Kasai Oriental, RDC, 2000-2005.

Characteristic	Coefficient estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	Odds ratio	Lower limit CI 95%	Upper limit CI 95%
Intercept	5.50	1.04	5.27	8.92×10^{-07}			
Ln (area)	-0.28	0.11	-2.44	1.64×10^{-02}			
Population	1.97×10^{-6}	1.17×10^{-6}	1.69	9.46×10^{-02}			
Gare ferroviaire	0.61	0.25	2.42	1.74×10^{-02}	1.8	1.12	3.02
Port	1.39	0.33	4.16	7.06×10^{-05}	4.0	2.09	7.75
route principale	1.43	0.41	3.50	7.09×10^{-04}	4.2	1.88	9.32
Lac	2.01	0.33	6.12	2.20×10^{-08}	7.5	3.92	14.23

Tableau VI : Odds ratios et paramètres du modèle de distribution binomiale négative type II des cas de choléra au Nord-Kivu et au Sud-Kivu, RDC, 2000-2007.

	Coefficient estimate	Std. error	t value	Pr(>|t|)	Odds ratio	Lower limit CI 95%	Upper limit CI 95%
(Intercept)	-3.679	3.2891	-1.119	2.73E-01	-		
logpopulation	0.7615	0.266	2.863	8.02E-03	-		
V_100k Hab	0.4875	0.264	1.847	7.58E-02	1.63	0.97	2.73
port	0.5599	0.2894	1.935	6.36E-02	1.75	0.99	3.09
Lac	1.9343	0.341	5.672	5.04E-06	6.92	3.55	13.50

Coefficient d'estimation : coefficients de régression (pour les variables discrètes, leur exponentiel donne les odds ratio),

t value, valeur de la distribution,

Pr(>|t|) : probabilité que l'hypothèse nulle du coefficient d'estimation soit statiquement différente de zéro ;

CI, intervalle de confiance ;

Intercept : moyenne du nombre de cas;

Ln : logarithme népérien

V_100kHab : Ville de plus de 100 000 habitants

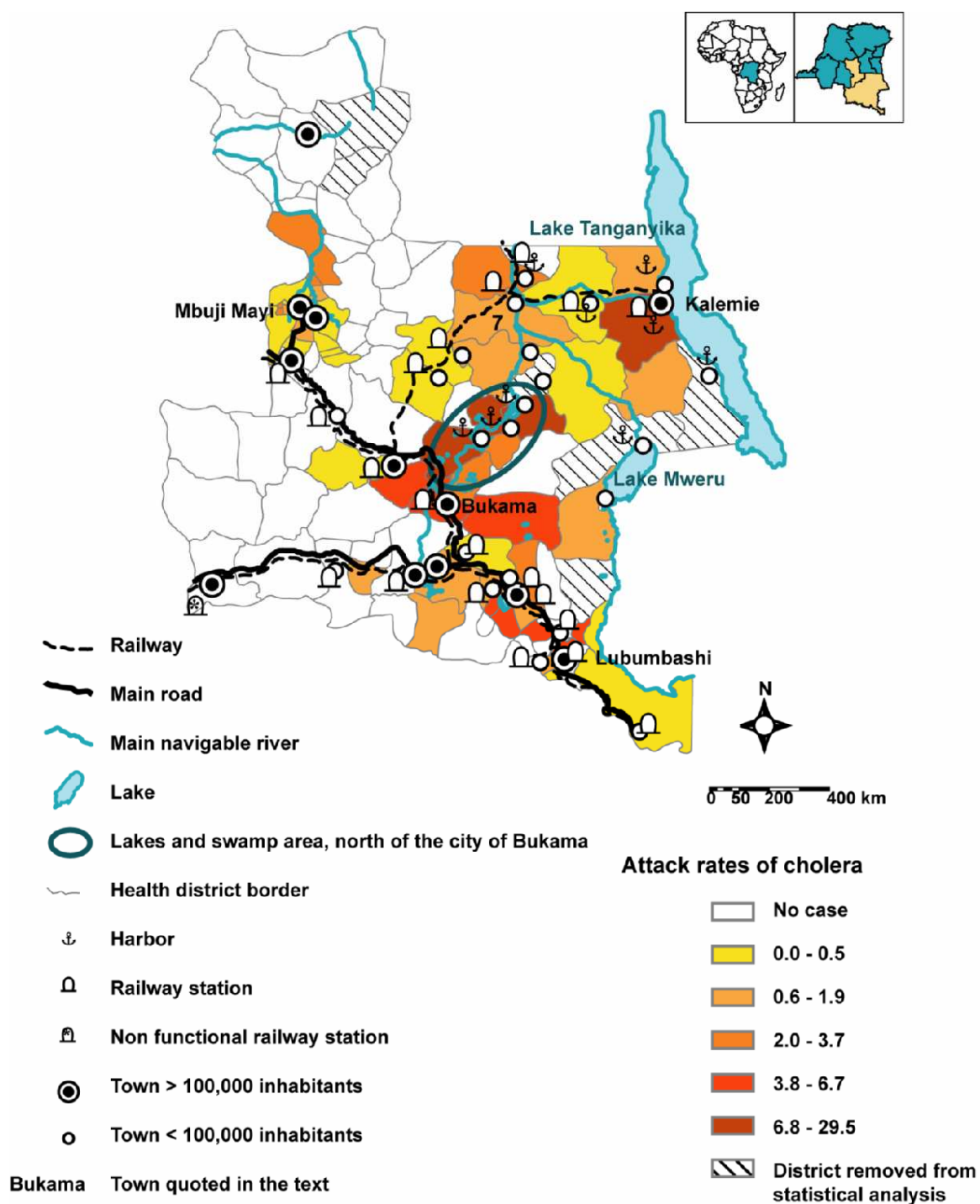
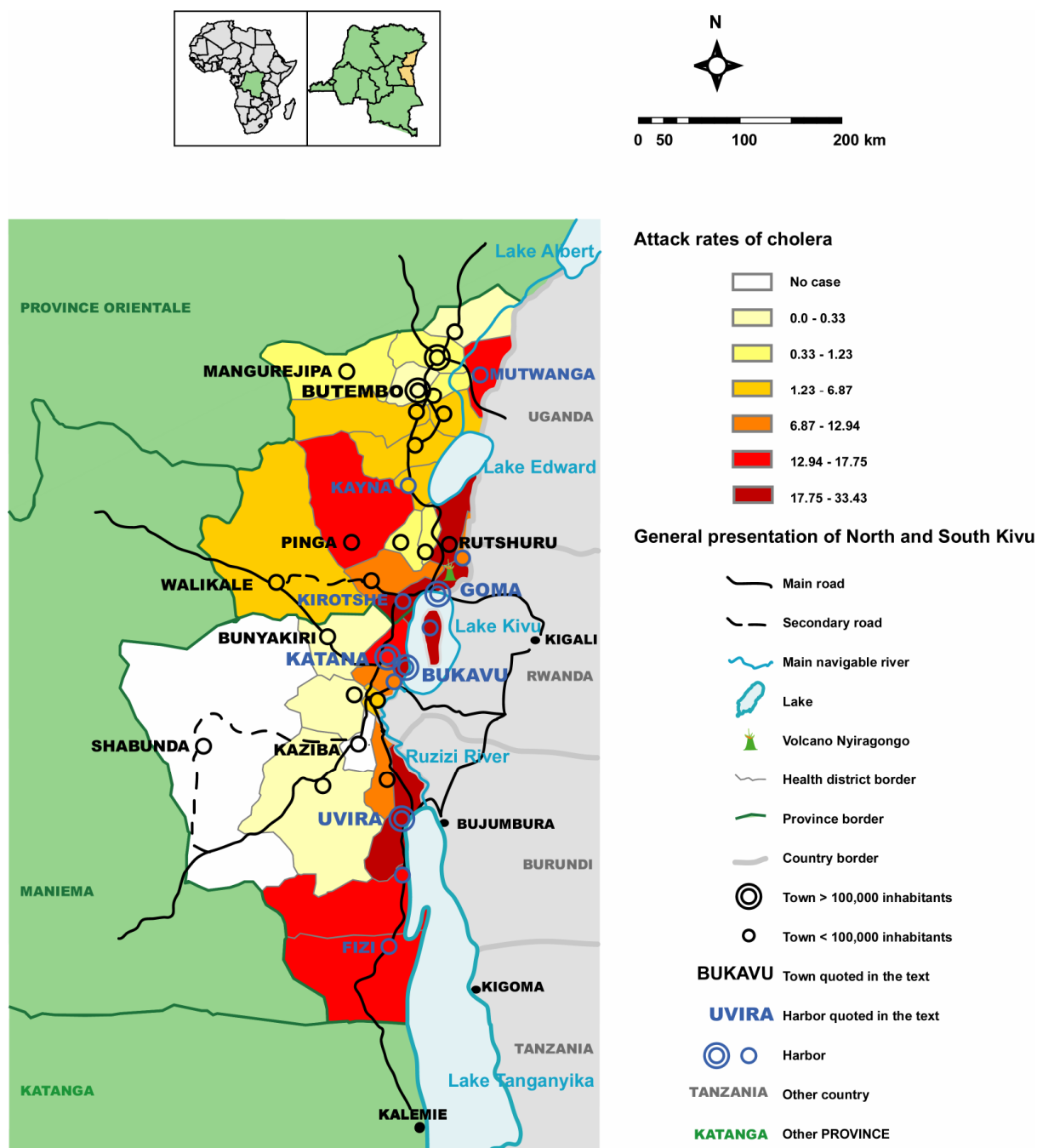


Figure 28 A : Taux d'attaque moyen du choléra (pour 10 000 habitants) par zone de santé, Katanga et Kasai Oriental, 2002-2005.

**Figure 28 B**

Taux d'attaque de choléra par zone de santé (pour 10 000 hab.),
Sud-Kivu et Nord-Kivu, RDC, 2000-2007.

D'après cette figure, même dans les deux provinces du Kivu, la répartition spatiale des cas de choléra reste dominée par une concentration des cas autour des zones lacustres. Tout comme au Katanga et au Kasai Oriental, il y a des zones de santé qui durant toute la période d'étude n'ont pas été touchées par les cas de choléra. C'est le cas de la zone de Shabunda au Sud-Kivu.

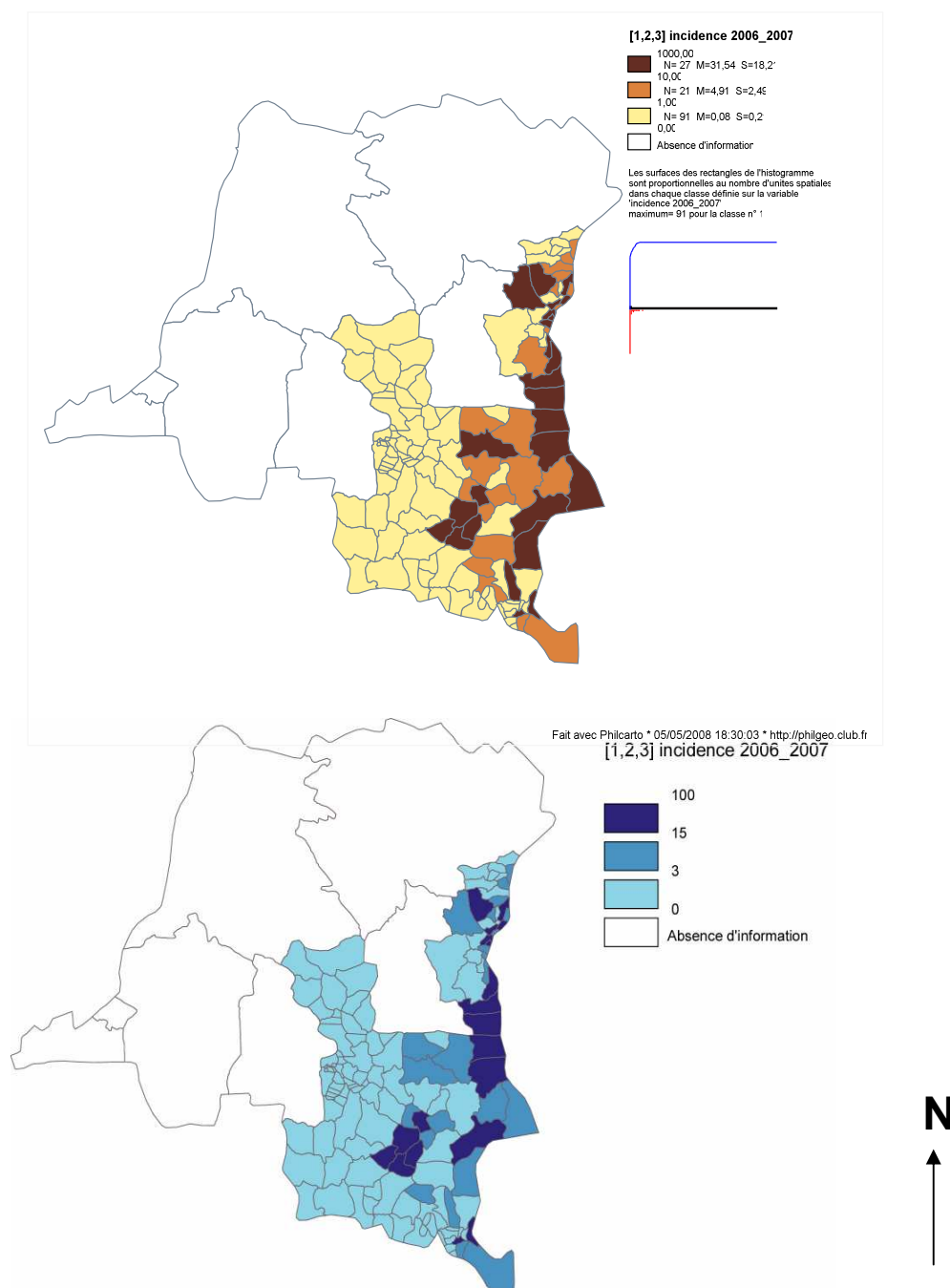


Figure 29: Distribution spatiale du choléra dans quatre provinces de l'est de la RDC.

A- Carte modélisant la distribution du choléra à partir des scores issus du modèle binomial négatif type II;

B- Vérification à partir des cas réellement rapportés aux Katanga, Kasai Oriental et Nord et Sud Kivu, RDC, 2006-2007. Cette figure illustre l'approche de vérification de la validité de ce modèle prédictif.

D'après cette figure, la carte de prédiction (A) et la carte réelle (B) de la répartition spatiale des cas de choléra sont bien superposables. Les clusters les plus importants se retrouvent autour des zones lacustres et quelques cas dans les zones urbaines du sud du Katanga.

Recherche des zones sanctuaires du choléra à l'est de la RDC entre 2000 et 2007

Entre 2000 et 2007, à l'est de la RDC, sur les 150 472 cas de choléra rapportés, 61 % (92 399/150 472) ont été signalés dans des zones de santé situées dans des régions lacustres du Katanga et des deux Kivu.

La figure 30 représente des séries temporelles de cas de choléra dans les zones lacustres et dans les zones non lacustres du bloc Katanga/Kasaï Oriental (A) et du bloc Nord-Kivu/Sud-Kivu (B). Elle montre qu'entre les périodes de flambées épidémiques, le choléra disparaît des zones non lacustres alors qu'il se maintient dans ces dernières. Ce maintien du choléra dans les zones lacustres lors des périodes d'accalmie est aussi illustré par la figure 31 qui présente la répartition spatiale des cas de choléra notifiés lors des périodes les plus calmes dans les provinces du Nord-Kivu, du Sud-Kivu, du Katanga et du Kasaï Oriental.

Au total, sur 139 zones de santé (pour l'ensemble des 4 provinces (Katanga, Nord-Kivu, Sud-Kivu et Kasaï Oriental), 11 zones de santé soit 7,4% des zones de santé de ces provinces jouent le rôle de sanctuaire du choléra (figure 31). Dans ces zones sanctuaires, qui sont toutes des zones lacustres, les cas de choléra étaient rapportés quasiment tout au long de l'année.

Evolution temporelle du choléra à l'est de la RDC

Entre 2000 et 2008, (comme illustré plus haut par la figure 35), l'évolution des épidémies de choléra a été marquée par une succession de périodes de flambées épidémiques entrecoupées de périodes de remission plus ou moins longues. Les deux pics les plus importants sont ceux observés à la 9^{ème} semaine de 2002 (avec 1944 cas) et à la 6^{ème} semaine de 2008 (1 389 cas). Globalement, après les grandes flambées de 2002, une période d'accalmie a été observée pendant la fin 2003 et une grande partie de 2004. En fin 2004, il a été observé une reprise des épidémies de choléra essentiellement dans les zones lacustres, sur toute la région est de la RDC. Au Katanga, ces épidémies de fin 2004, qui se sont poursuivies jusqu'au premier trimestre 2005, sont restées localisées au niveau des zones lacustres.

A la flambée de fin 2006 qui s'est étendue jusqu'à la fin du premier trimestre 2007, a succédé une nouvelle période d'accalmie générale qui dure depuis le début de l'année 2008.

Les épidémies de choléra étaient de moins longue durée dans les zones non lacustres que dans les zones lacustres dont certaines (les zones sanctuaires : Figure 30) rapportaient des cas de choléra sur la quasi-totalité de l'année.

La figure 32 montre les composantes de saisonnalité extraites de cinq séries temporelles de cas de choléra rapportés dans cinq régions lacustres de l'est de la RDC : la région de Goma et de Kirotshé, la région de Bukavu et Katana, la région de Uvira (pour les zones de Uvira et Fizi), la région de Kalemie (pour les zones de Kalemie et de Nyemba) puis enfin la région du lac Upemba (pour les zones des lacs centraux du Katanga). Globalement l'étude des variations saisonnières met en évidence une

augmentation des cas de choléra en saison des pluies dans les régions où alternent saison des pluies et saison sèche tandis que la saisonnalité du choléra n'est que très peu prononcée autour de Goma qui jouit d'un climat humide toute l'année. La pluie n'est cependant pas le seul facteur associé à des flambées saisonnières de choléra et l'on constate aussi au Katanga la survenue de pics de choléra en fin de saison sèche.

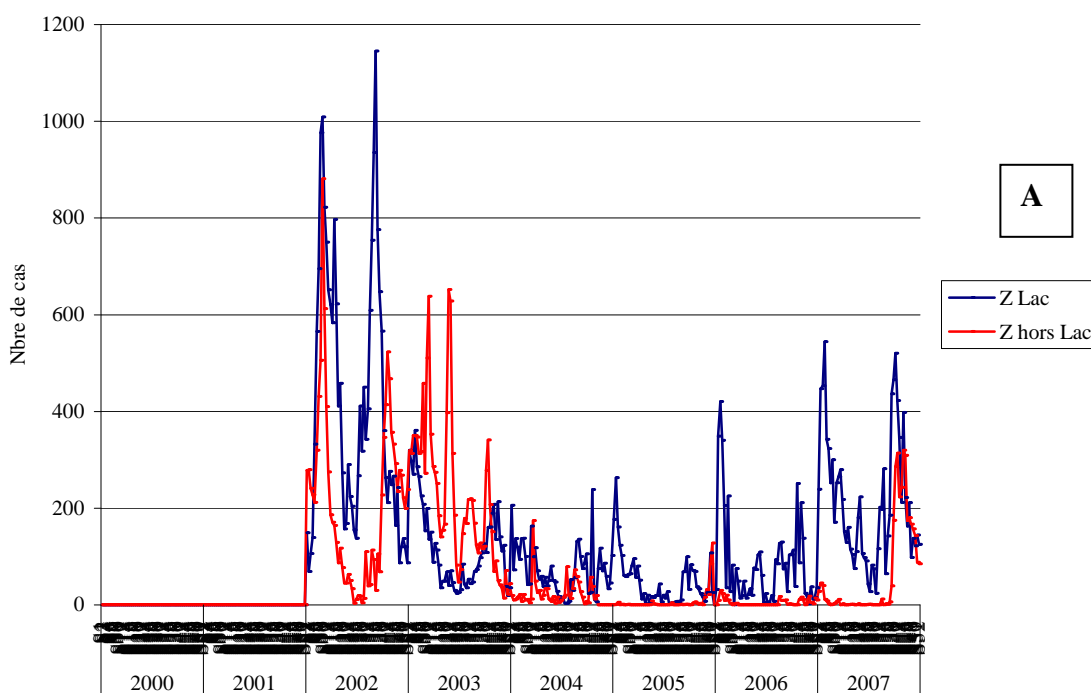


Figure 30 : Séries temporelles de cas de choléra dans les zones lacustres et non lacustres, Est RDC, 2000-2007.

Courbe bleue : zones lacustres, courbe rouge : zones non lacustres.

A- Katanga-Kasaï Oriental

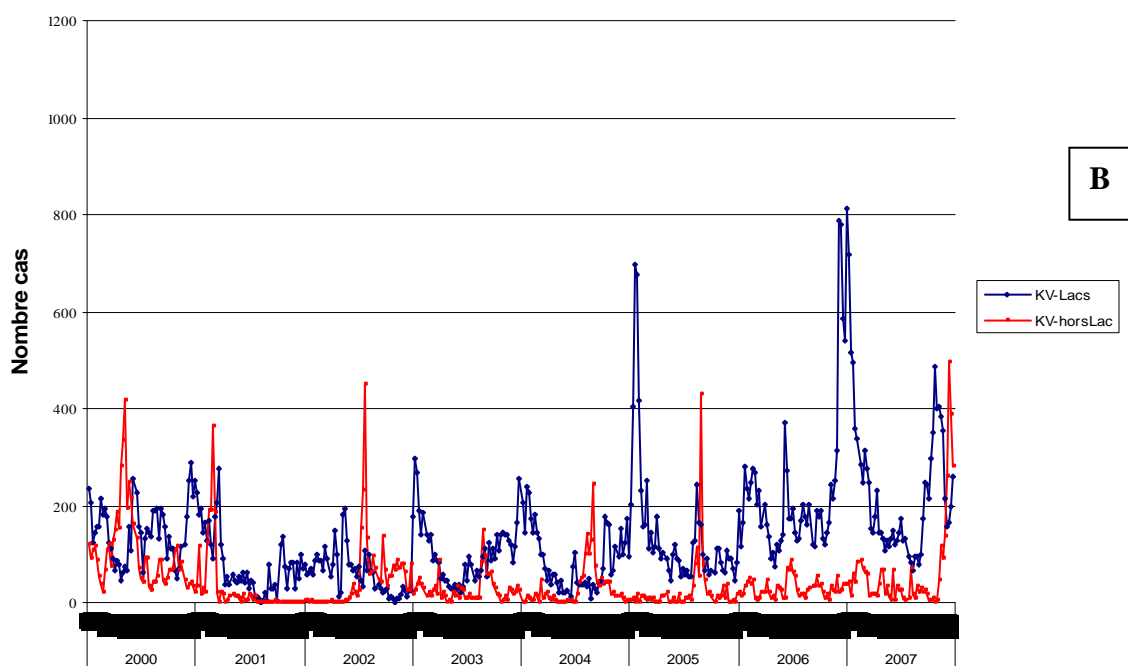


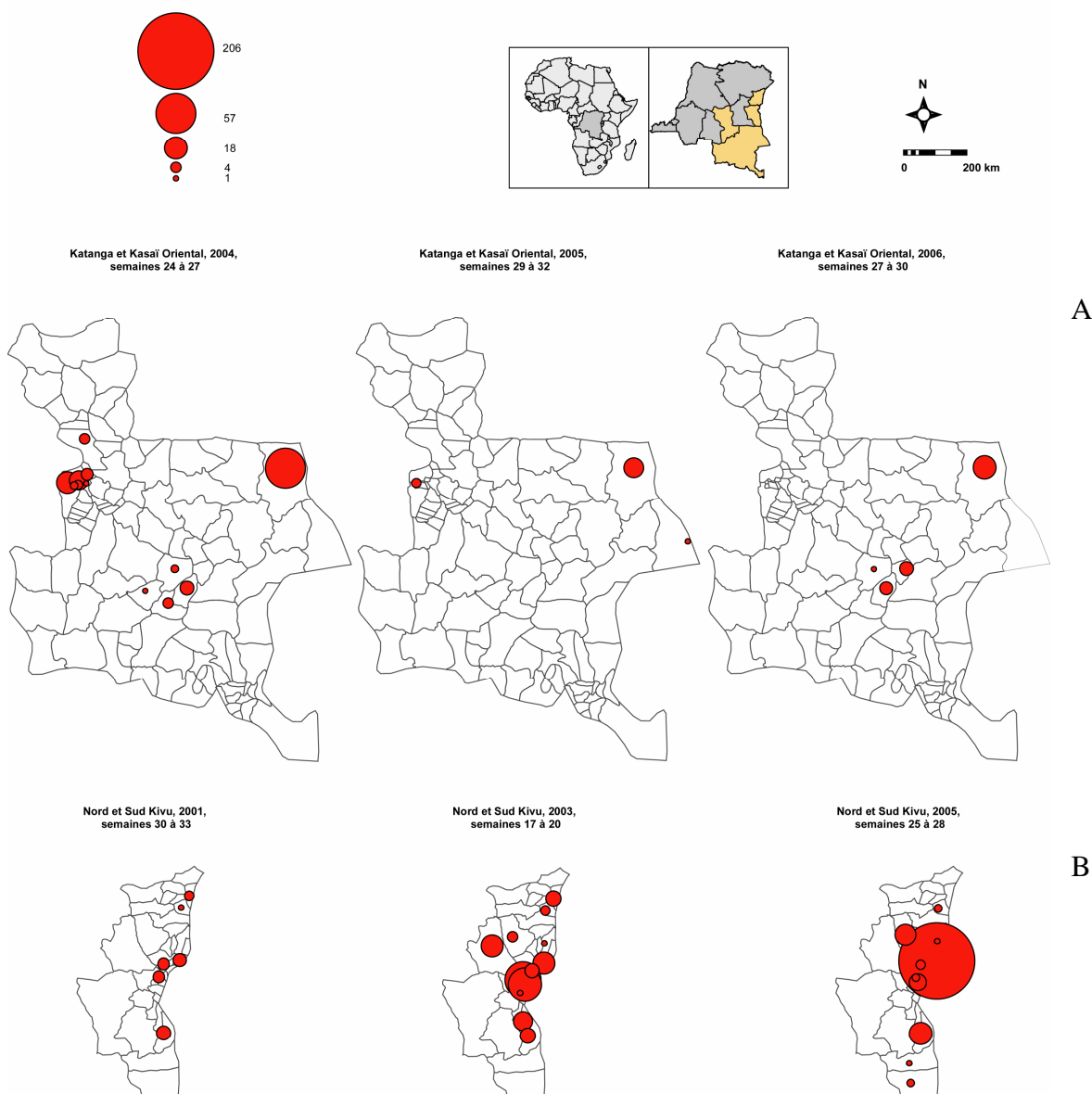
Figure 30 : Séries temporelles de cas de choléra dans les zones lacustres et non lacustres, Est RDC, 2000-2007.

B. Nord-Kivu et Sud-Kivu

Courbe bleue : zones lacustres, courbe rouge : zones non lacustres.

Les cas de choléra sont rapportés de façon continue dans les zones lacustres alors qu'ils le sont de façon discontinue dans les zones non lacustres. En observant ces courbes, on constate que les pics dans les zones non lacustres sont souvent précédés d'un pic en zone lacustre. Les flambées épidémiques ont une amplitude plus ample en zone lacustre qu'en zone non lacustre.

Nombre total de cas pendant les 4 semaines de rétraction



Fait avec Philcarto <http://philgeo.club.fr>

Figure 31 : Cartes des cas de choléra correspondant aux périodes de rétractions épidémiques dans le bloc Katanga-Kasai Oriental (A) et des deux Kivu (B)

D'après cette figure, durant les périodes de rétraction (correspondant ici à 4 semaines pendant lesquelles le nombre de cas rapportés dans une série temporelle est le plus bas), les cas de choléra se concentrent essentiellement dans des zones lacustres suivantes : Kalemie, Bukama, Kinkondja et Kabondo-Dianda (au Katanga), Goma, Kirotshé et Mutwanga (au Nord-Kivu), Uvira, Katana, Bukavu et Kyondo (au Sud-Kivu).

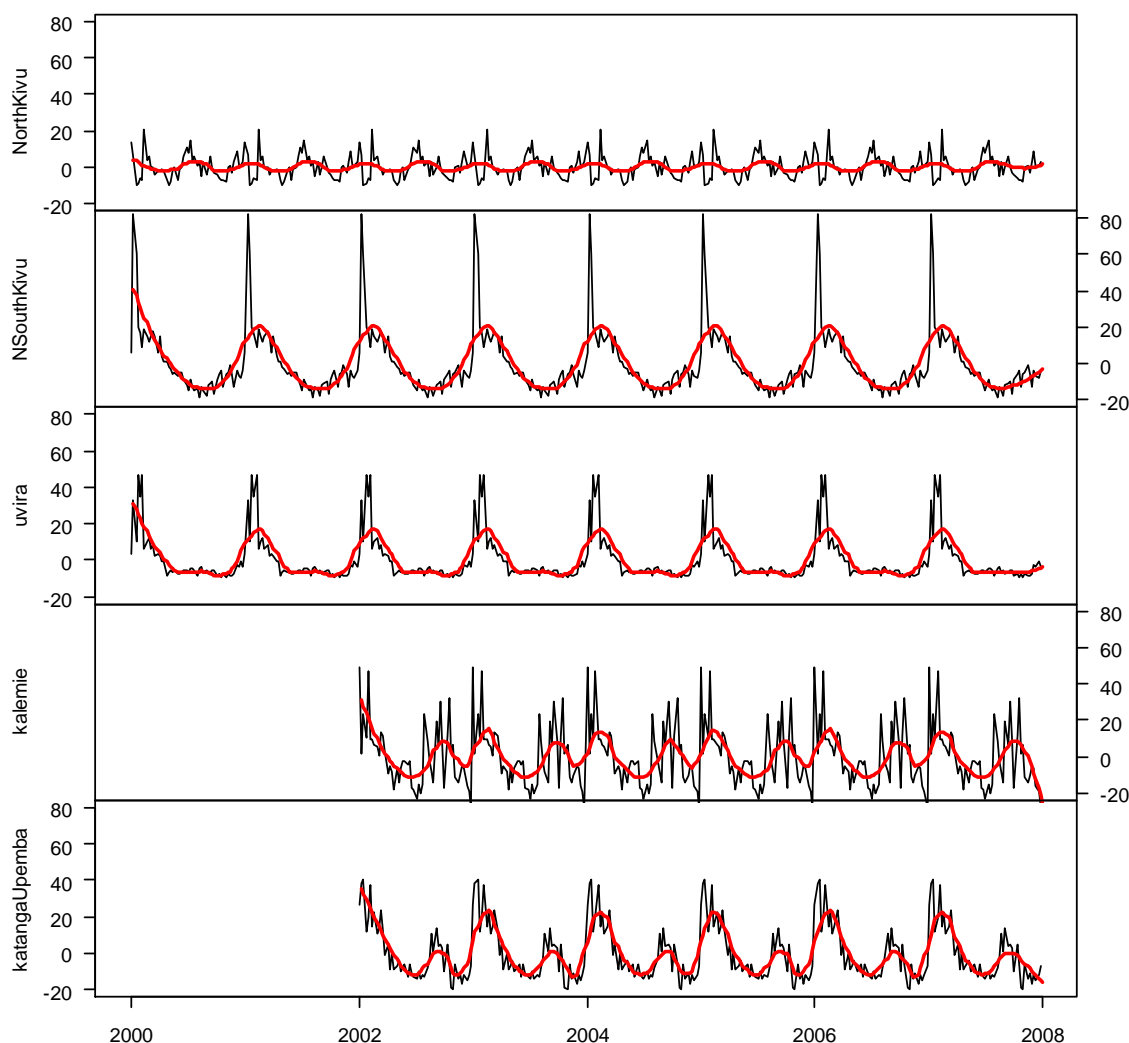


Figure 32 : Séries temporelles de composantes saisonnières des cas de choléra rapportés dans cinq régions géographiques lacustres de l'est de la RDC.

Etude des facteurs influençant la dynamique du choléra à l'est de la RDC

Quatre groupes de facteurs ont été étudiés pour analyser la dynamique du choléra à l'est de la RDC en général et essentiellement dans les zones lacustres. Parmi ces facteurs, il y a : le rôle de la pluie, l'impact des urgences complexes et des catastrophes naturelles, l'impact des activités humaines liées à la pêche et au commerce de poisson, et enfin le rôle des variations des blooms de plancton sur la dynamique temporelle du choléra

Rôle de la pluie dans la dynamique du choléra à l'est de la RDC

La figure 33 montre les résidus issus de la décomposition des séries temporelles hebdomadaires des cas de choléra de cinq régions lacustres de l'est de la RDC (c'est-à-dire le nombre de cas corrigé des variations saisonnières et inter-annuelles). Il existe malgré

tout une forte auto-corrélation temporelle résiduelle, dont il est difficile de se débarrasser complètement car elle est probablement influencée par des facteurs encore à rechercher, autres que la saisonnalité. Il ressort donc que le nombre de cas de choléra à un temps donné est fortement marqué par les pics épidémiques des années antérieures.

La figure 34 met en évidence l'existence d'une tendance saisonnière très marquée sur les séries temporelles hebdomadaires de données de pluviométrie dans les mêmes régions lacustres que celles de la figure 32. Les différences entre saisons de pluies et saisons sèches étant plus marquées au sud (Upemba, Kalemie, Uvira) qu'au nord (Bukavu, Goma). Les tendances inter-annuelles du choléra et de la pluviométrie, sont très similaires (figure non présentée).

Les résultats des études de corrélations entre les résidus des deux séries temporelles sont présentés dans la figure 33. Cette figure montre les corrélogrammes croisés représentant les 5 régions étudiées. Une fois enlevées l'influence saisonnière et les tendances inter-annuelles, l'étude des résidus montre que le surcroît de pluie à un moment donné semble s'accompagner d'un surcroît de choléra contemporain dans la région du lac Upemba (figure 35 C) et après une latence de quelques semaines dans la ville d'Uvira (figure 35 E). Ces phénomènes n'ont pas pu être mis en évidence dans les zones bordant le lac Kivu ni à Kalemie (figure 35 D) à partir des approches statistiques utilisées.

Impact des urgences complexes et des catastrophes naturelles sur la dynamique du choléra

L'impact de ces facteurs a été recherché dans les deux provinces du Kivu, particulièrement touchées durant ces dix dernières années par de nombreux événements désignés dans la terminologie des Nations Unies par le terme urgences complexes.

D'après les rapports des agences des Nations Unies et des ONG internationales, un total de 18 urgences complexes accompagnées de déplacements de population de grande envergure ont été comptabilisés pendant cette période. Dans six cas, les déplacements de population sont survenus alors qu'une épidémie de choléra avait déjà commencé. Parmi les douze autres conflits avec déplacement de population, 4 furent suivis d'une épidémie de choléra, dans un délai maximal de douze semaines. Deux de ces épidémies eurent lieu dans des camps de personnes déplacées internes (Internal Displaced People, selon la terminologie anglaise); elles débutèrent six à huit semaines après l'arrivée des premiers déplacés dans le camp. Toutefois, les simulations montrent que le nombre des réactivations épidémiques n'est pas plus important que celui obtenu pour n'importe quelle semaine sans conflit et hors de la période épidémique (Figure 36).

En 2002, l'éruption du Nyiragongo ne fut pas suivie d'une augmentation de l'incidence du choléra. Une étude menée dans cinq centres de santé primaires de l'ouest de Goma a montré que, durant cette période, les diarrhées représentaient seulement 6% des patients venus y consulter. De janvier à avril 2002, il y eut seulement 180 cas de choléra (8 par semaine) déclarés dans l'ensemble de la ville de Goma, sans aucun décès. Ce faible nombre de cas contraste avec la moyenne de 29 cas par semaine habituellement observée à Goma à cette période de l'année.

Visualisation des résidus

remain.bind

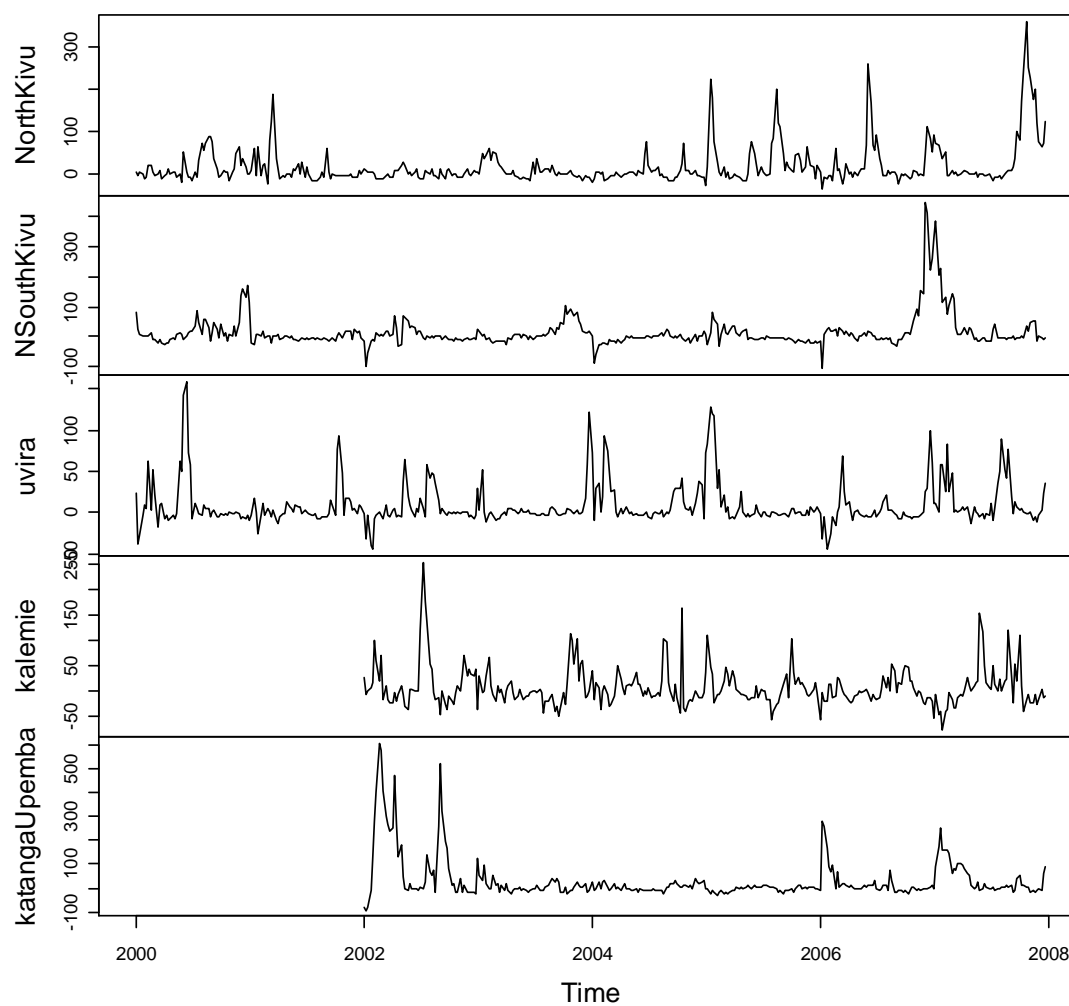


Figure 33 : Résidus extraits des séries temporelles des cas de choléra rapportés dans cinq régions lacustres de l'est de la RDC, 2000-2007.

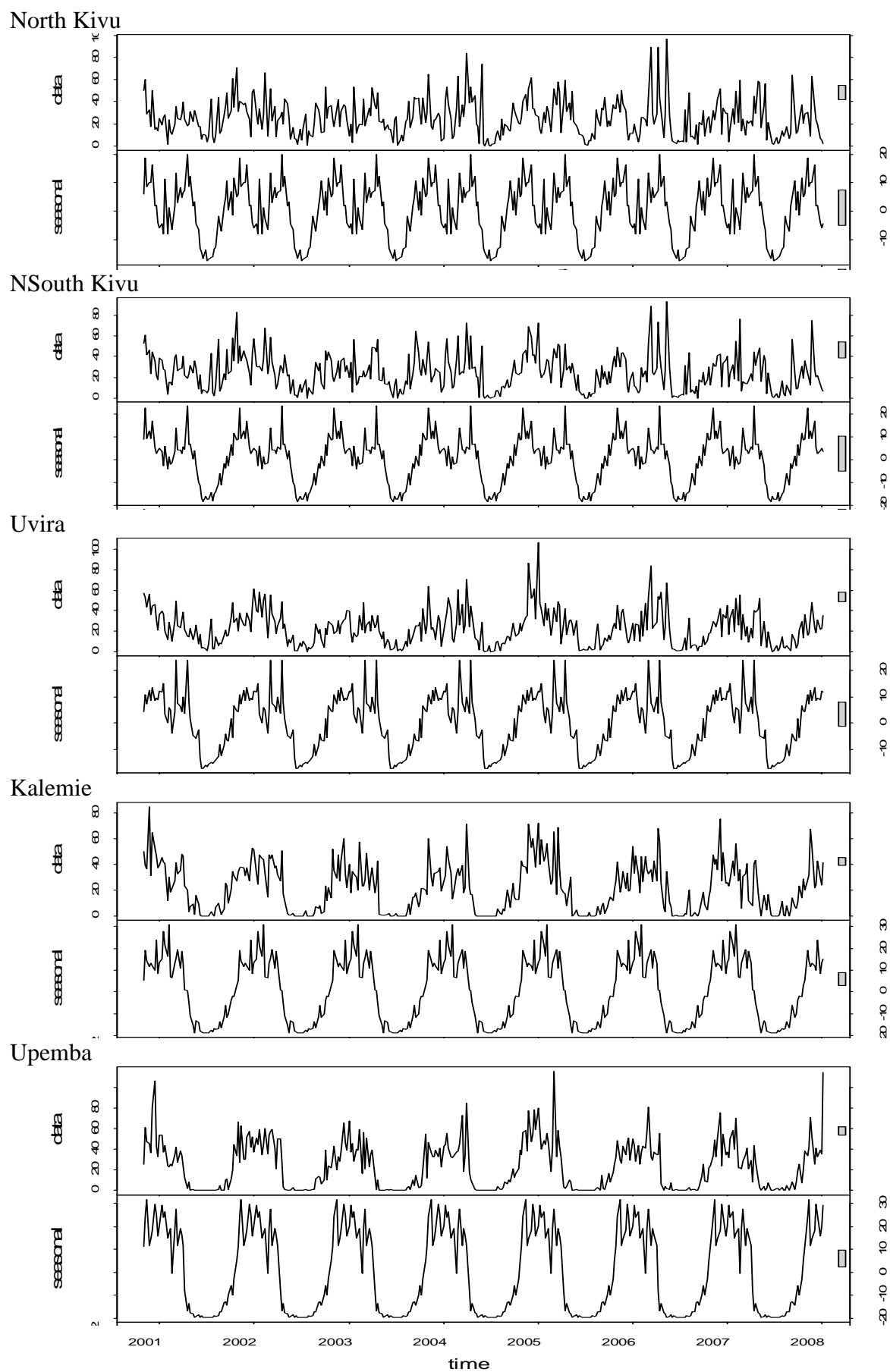


Figure 34: Courbe globale de la pluviométrie en zones lacustres

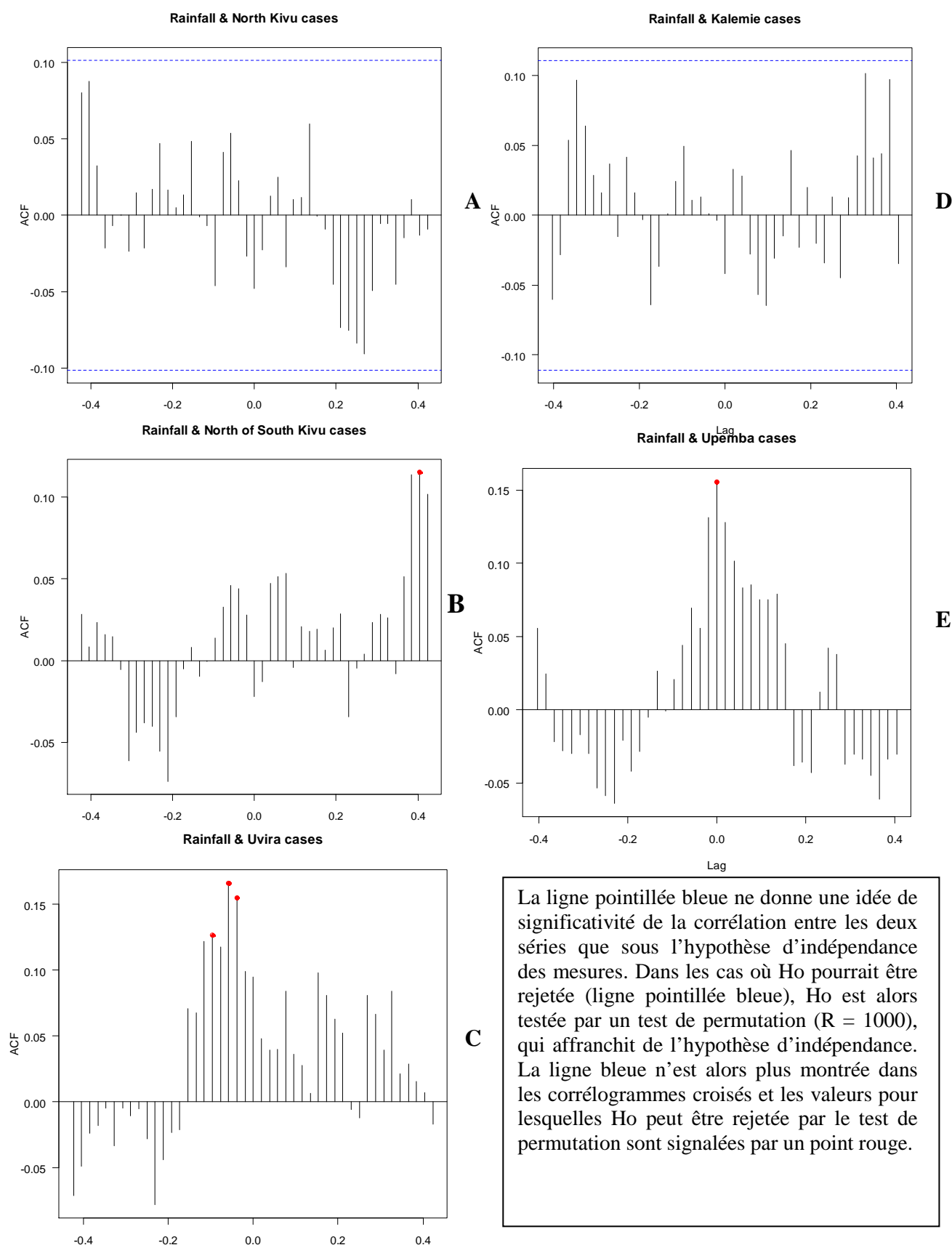


Figure 35 : Corrélations croisées des résidus de variation de pluviométrie et la variation des cas de choléra dans les 5 régions étudiées de l'est de la RDC.

A- Nord-Kivu, B- North of South Kivu, C- Uvira, D- Kalemie, E- Upemba

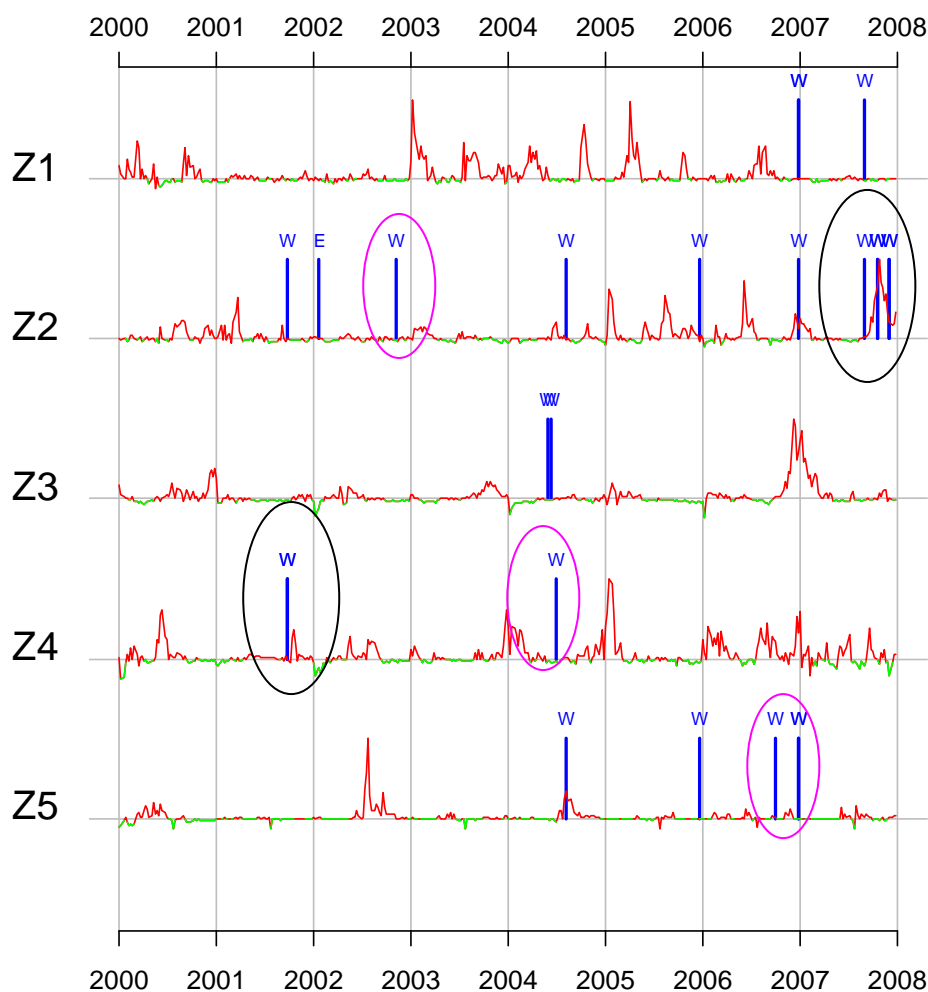


Figure 36: choléra dans les 5 groupes de zones et principaux événements survenus dans les deux Kivu.

Zone 1: Mutwanga,
 Zone 2: Goma, Rutshuru, Kirotshe,
 Zone 3: Bukawu, Katana
 Zone 4: Uvira, Nundu, Fizi ;
 Zone 5: Pinga, Walikale

L'observation des événements liés à la guerre (W) montre que sur les 18 événements observés, seuls deux sont chronologiquement suivis d'une flambée épidémique, ce qui exclut formellement que les épisodes de guerre mentionnés soient une cause majeure des dizaines d'autres (quels qu'en soient la définition) observées pendant la période. Quant à l'éruption du Nyiragongo, elle est suivie d'une rémission épidémique.

Impact des activités professionnelles (pêche, commerce, mines)

Les périodes et les lieux de pratique de la pêche varient selon la région considérée. Dans la région du lac Tanganyika, la pêche se pratique à partir des rives du lac Tanganyika. Les pêcheurs vivent dans des campements sur la terre ferme (villages en bordure du lac) situés dans les parties rurales au sud et au nord de la cité de Kalemie. D'après les informations recueillies auprès des groupements de pêcheurs dans la région de Kalemie, les périodes les plus propices à la pêche sont de janvier à février, de fin avril à début juin, de fin juillet à début septembre. Ces saisons de pêche sont toutes dictées par le rythme de la succession de différents types de vent et de tempêtes soufflant sur le lac Tanganyika. Les tempêtes les plus violentes sont observées en avril et surtout en juillet. Toutes ces périodes de tempêtes sont parfaitement connues par les pêcheurs (et les riverains du lac Tanganyika) et constituent l'un des principaux facteurs qui rythment la pêche artisanale au Tanganyika.

Au début des périodes de pêche, la population des campements n'est constituée que d'autochtones des petits villages situés en bordure de lac (population variant entre 10 et 50 personnes). Au pic de la période de la campagne de pêche (fin juillet- août), on dénombre jusqu'à 100 voire 1000 personnes dans certains campements (Figure 37 A, B, C). Plus de 90 % des personnes retrouvées dans ces campements situés en zone rurale sont des pêcheurs (plus de deux sur trois) ou des commerçants (moins de un sur trois) venus des cités lacustres comme Kalemie, Moba ou Uvira.

Ces campements se caractérisent par une absence d'eau potable, des problèmes d'assainissement en général et d'évacuation des excréta en particulier. Les pêcheurs et commerçants rencontrés sur les lieux ont rapporté la survenue fréquente d'épidémies de choléra dans ces campements. Très souvent, il n'y a pas de structures de soins dans ces villages-campements, les cas de choléra signalés sont donc souvent acheminés vers les unités de traitement de choléra les plus proches (aires de santé rurales) ou le plus souvent vers le centre de traitement de choléra de la cité de Kalemie (car la grande majorité des pêcheurs résident à Kalemie et préfère donc être traités près de leur famille) ou de Moba, ou d'Uvira.

Dans la région des lacs centraux du Katanga où l'on retrouve le lac Upemba, les pêcheurs se regroupent dans des campements flottant sur les lacs (îlots flottants constitués par un assemblage de feuilles de papyrus). Dans cette région, la période la plus propice à la pêche va du mois de mai à la première moitié du mois d'octobre. Cependant, la période officielle (administrative) de la pêche va du mois de mars à celui de décembre.

De mai à septembre, ces campements sont pris d'assaut par de nombreuses populations de pêcheurs et de commerçants en provenance des villages aux alentours des lacs, des cités proches (Bukama, Mangi, Malemba Nkulu, Luena). Certains commerçants viennent de grandes villes plus éloignées comme Kamina, Likasi, Kolwezi, Lubumbashi, Mbuji Mayi, Mwene Ditu, Kananga voir Tshikapa dans le Bandundu). **Ces campements sont encore pires que ceux des rives du Tanganyika.**

Au niveau de la perception de la maladie, nombreux sont les pêcheurs qui croient toujours à une origine magique du choléra. Ils ne comprennent pas que des campements où leur grands-parents ont toujours pêché soient devenus en quelques années des zones à risque de choléra. Il n'est pas rare de leur entendre déclarer : « *Nos ancêtres se sont*

toujours rendu ici pour faire la pêche, ils ont toujours bu cette eau du lac, tout en déféquant non loin d'ici, et ils ne sont pas mort de choléra. D'où vient –il qu'aujourd'hui on nous dise qu'il y a du choléra ici ? ».

Les traditions et les coutumes ancestrales sont spécifiques à chaque zone de pêche (campement, ou région de pêche). Dans les villages de provenance des populations de pêcheurs, on retrouve une structure clanique de la population. Chaque clan de pêcheurs est lié à un totem «*vivant*» dans un lieu précis et souvent en plein milieu ou au bord du lac. Très souvent, les sites de localisation des campements sont déterminés par la position du totem ou une position déterminée par le totem (qui dans ce dernier cas, a «*sa résidence*» non loin du campement. Il arrive souvent que les pêcheurs offrent des sacrifices (boisson traditionnelle, bassin de manioc ...) au totem pour améliorer le rendement d'une saison de pêche mal engagée.

En dialecte local, le totem se traduit par le mot générique : « *Mikishi* ». (Il y a plusieurs types de *Mikishi*). Certains clans de pêcheurs croient que le *Mikishi* peut aller jusqu'à 'réclamer' des sacrifices humains en échange d'une saison de pêche prolifique. Dans ce dernier cas, le mort (« *sacriifié* » par et pour le *Mikishi* d'après la croyance locale) fait l'objet d'un rituel funéraire spécifique. Ainsi, deux investigations d'épidémies en 2002 ont permis d'identifier des démarrages de flambées épidémiques à partir de campements sur le lac Upemba à partir des rituels funéraires organisés sur des personnes décédées de choléra (non reconnu comme tel par la communauté).



A



B



C

Figure 37 : Principaux moyens de déplacement utilisés par les commerçants et des pêcheurs en zones lacustres.

A- Véhicules,

B- Bateaux,

C- Train.

Les commerçants dans les campements viennent de divers horizons, de la cité de Bukama, des grandes villes du sud du Katanga (Kamina, Kolwezi, Likasi, Lubumbashi), des villes du Kasai (Mwene Ditu, Mbuji Mayi, Kananga, Ilebo, Tshikapa, ...) voire même du Bandundu (Idiofa, Bandundu ville) et de Kinshasa. Ces commerçants commencent à arriver au niveau des campements des lacs de Bukama ou des villages proches des campements à partir de la fin du mois d'avril et commencent à repartir en septembre.

La fin de la période d'achat des poissons (fin septembre) au niveau des campements correspond au début de la saison des pluies. Ainsi, lorsqu'une épidémie se déclenche dans un campement ou un village en zone lacustre, les commerçants rentrant des zones lacustres vers les grandes villes (avec leurs poissons) sont souvent affectés, ou en phase d'incubation. Les moyens de déplacement souvent utilisés par ces commerçants sont les vélos, les véhicules, les pirogues (motorisées ou non), les bateaux ou les « baleinières » et le train. (Figure 37). Le cycle des mouvements des commerçants et des pêcheurs entre les zones lacustres et les grandes villes est illustré par la figure 38.

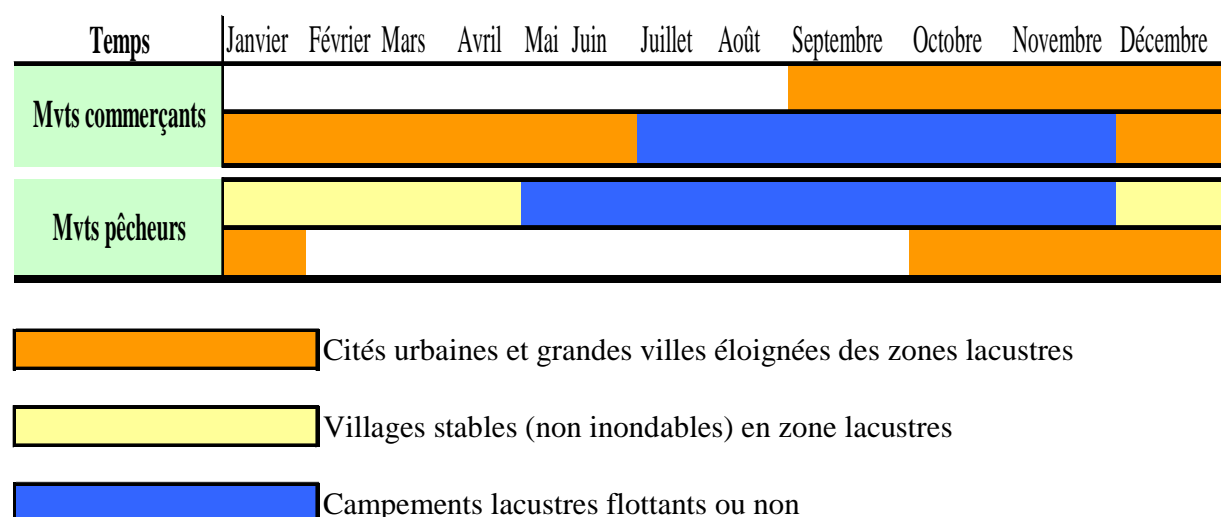


Figure 38 : Cycle d'activités et dynamique des populations de pêcheurs et de commerçants entre les zones lacustres de la région de Bukama et les cités urbaines du Katanga, RDC.

En début d'année, on retrouve les commerçants essentiellement dans les grandes villes. Les pêcheurs sont dans les villages « stables » et quelques-uns dans les campements parfois sur pilotis. La vague d'arrivée des pêcheurs dans les campements débute en fin avril. Ils sont suivis dans ces campements par les commerçants à partir de fin juin. Juillet et août constituent les deux mois de plus grande occupation des campements lacustres de la région de Bukama. C'est à partir de septembre que les premiers commerçants commencent à quitter les zones lacustres, suivis par les premiers départs de pêcheurs en octobre. La fermeture officielle de la pêche a lieu à partir du mois de décembre et ce, jusqu'en fin mars.

Impact de la variabilité des blooms de plancton sur la dynamique temporelle du choléra

La figure 39 montre des séries temporelles de données sur le plancton au niveau des sites lacustres d'Uvira et de Kalemie. La décomposition de ces quatre séries temporelles de blooms de plancton et de choléra a permis de mettre en évidence une saisonnalité de la fluctuation du plancton au niveau du lac Tanganyika. Les analyses de corrélation entre les séries temporelles n'ont pas permis de détecter de lien entre ces deux phénomènes (Figure 40 A et B).

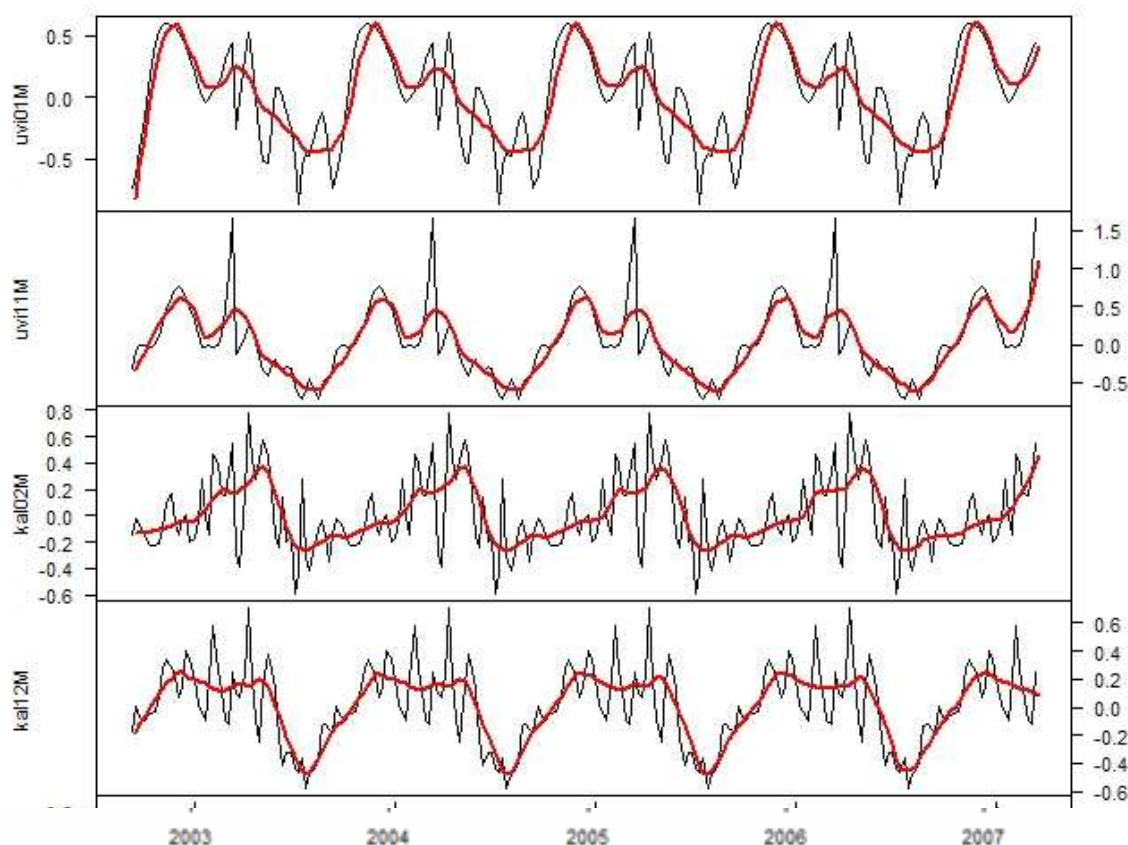


Figure 39: Séries temporelles de données sur le plancton au niveau des sites lacustres de Kalemie et de Uvira

A

B

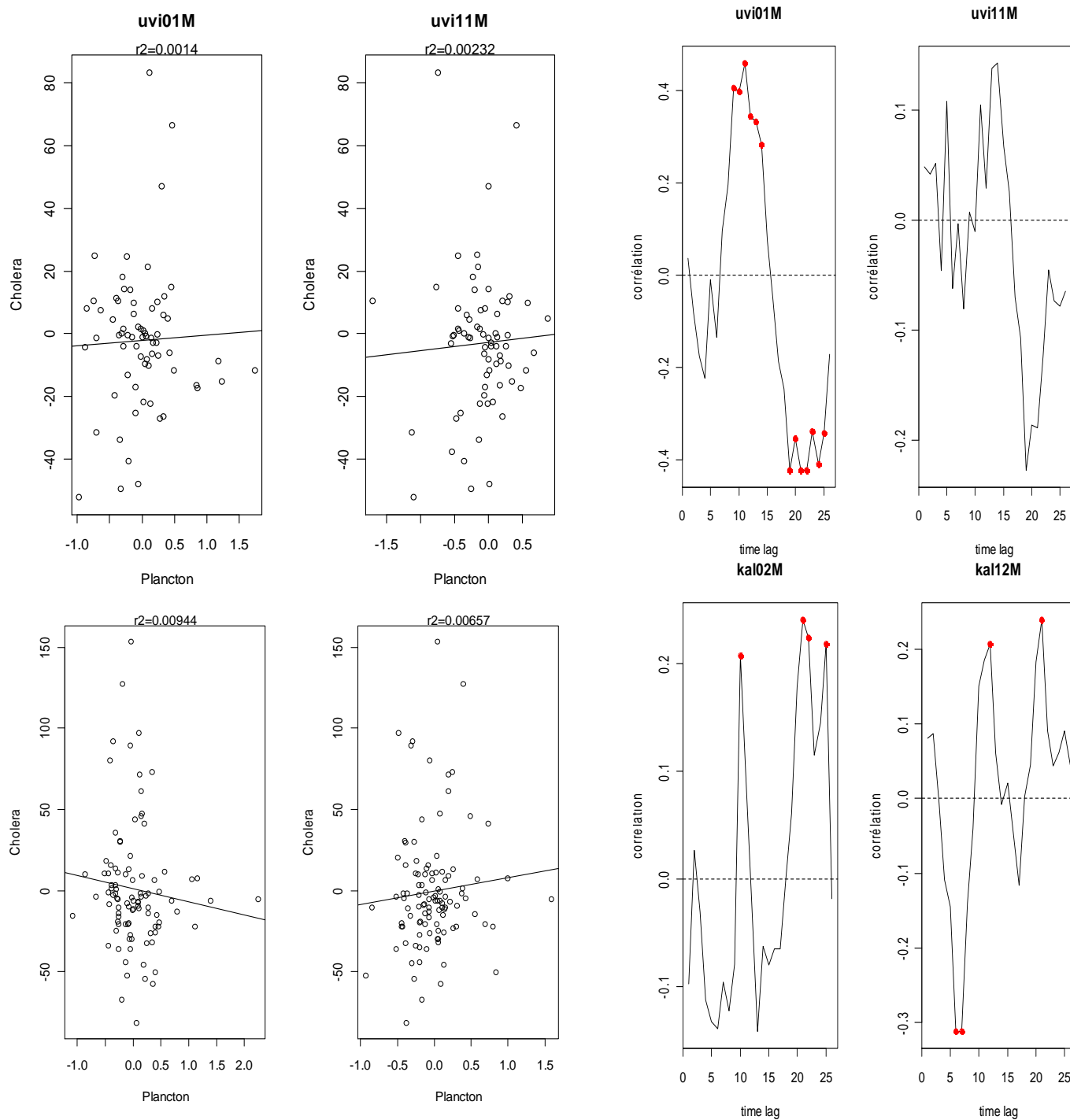


Figure 40 : Corrélations croisées entre résidus de séries de plancton (dégagés de la tendance inter-annuelle) et nombre de cas de choléra observés à Uvira (haut) et Kalemie (bas), étude sans décalage (A) et avec décalage (B)

La dynamique du choléra dans les zones lacustres a connu une évolution progressive depuis les premières épidémies de la fin des années 1970. Jusqu'à la fin des années 1990, il a été rapporté des flambées épidémiques de choléra avec plusieurs périodes assez longues d'extinction des cas.

Entre 1990 et 1999, les périodes inter-épidémiques sont devenues plus brèves, avec des flambées épidémiques de plus grande ampleur. Malgré ces périodes de nette extinction des cas observées à l'échelle des zones de santé, à l'échelle globale de toute la région Est de la RDC, il se dégageait une impression de continuité des cas de choléra.

Entre 2000 et 2004, prises séparément, les séries temporelles de cas de choléra dans les zones de santé lacustres de l'Est continuent à présenter des périodes plus ou moins longues d'interruption. Les investigations menées sur le terrain ont permis de confirmer que ces périodes d'interruption étaient bien des périodes où aucun cas de choléra n'était signalé dans ces zones. Les épidémies ne sont donc pas stables sur des zones de santé prises isolément. Des séries temporelles de cas de choléra parfois assez prolongées observées dans des sous-ensembles géographiques plus ou moins étendus, homogènes et synchrones sont en réalité constituées de plusieurs séries plus discontinues (Figure 41 A et B).

Même en considérant globalement des regroupements d'espaces synchrones (Goma-Kirotshe, Bukavu-Katana, Uvira, Kalemie et Upemba), il persiste encore des périodes plus ou moins longues d'extinction totale des cas de choléra. La figure 42 montre une continuité temporelle des cas de choléra à l'est de la RDC. Une telle continuité globale, résultat de discontinuités locales, traduit la métastabilité du foyer à une échelle donnée.

A partir de 2005, on note dans certains foyers, une modification de ce profil métastable. La Figure 43 met en évidence une tendance à la sanctuarisation (stabilisation, « *endémisation* ») dans les foyers de Kalemie et de Goma. Cette tendance à l'endémisation dans certaines régions de l'est de la RDC a été vérifiée à travers le suivi de la série de cas de choléra à Kalemie en 2008 (Figure 44) où comme pour les années 2005-2007, des cas de choléra ont été rapportés sans arrêt de la première à la 52^{ème} semaine de l'année.

Le suivi des cas de choléra dans le site sanctuaire de Kalemie en 2009 (Figure 44) montre une tendance à un retour vers un profil avec des périodes d'extinction des cas de choléra. Ces périodes d'extinction ont été confirmées par les résultats biologiques des analyses des échantillons de selles prélevés sur chaque cas cliniquement suspect de choléra et admis au CTC de Kalemie. Les différentes analyses de prélèvements de selles réalisés entre février et mai 2009 montrent que seules 20% de ces analyses étaient positives pour *Vibrio cholerae*. De plus, pour le mois de juin 2009, sur 17 échantillons de selles analysés, aucun n'était positif au *Vibrio cholerae*, tandis que neuf sur dix-sept étaient positifs pour *Salmonella sp.* Ces résultats montrent qu'il a continué à être notifié des cas de diarrhée cliniquement suspects de choléra, mais de moins en moins de vrais cas de choléra dû au *Vibrio cholerae*. A Kalemie, le fonctionnement du choléra serait donc en train de revenir vers un état métastable.

Les différents changements de mode de fonctionnement du choléra dans les zones lacustres sont conceptualisés sur la Figure 45.

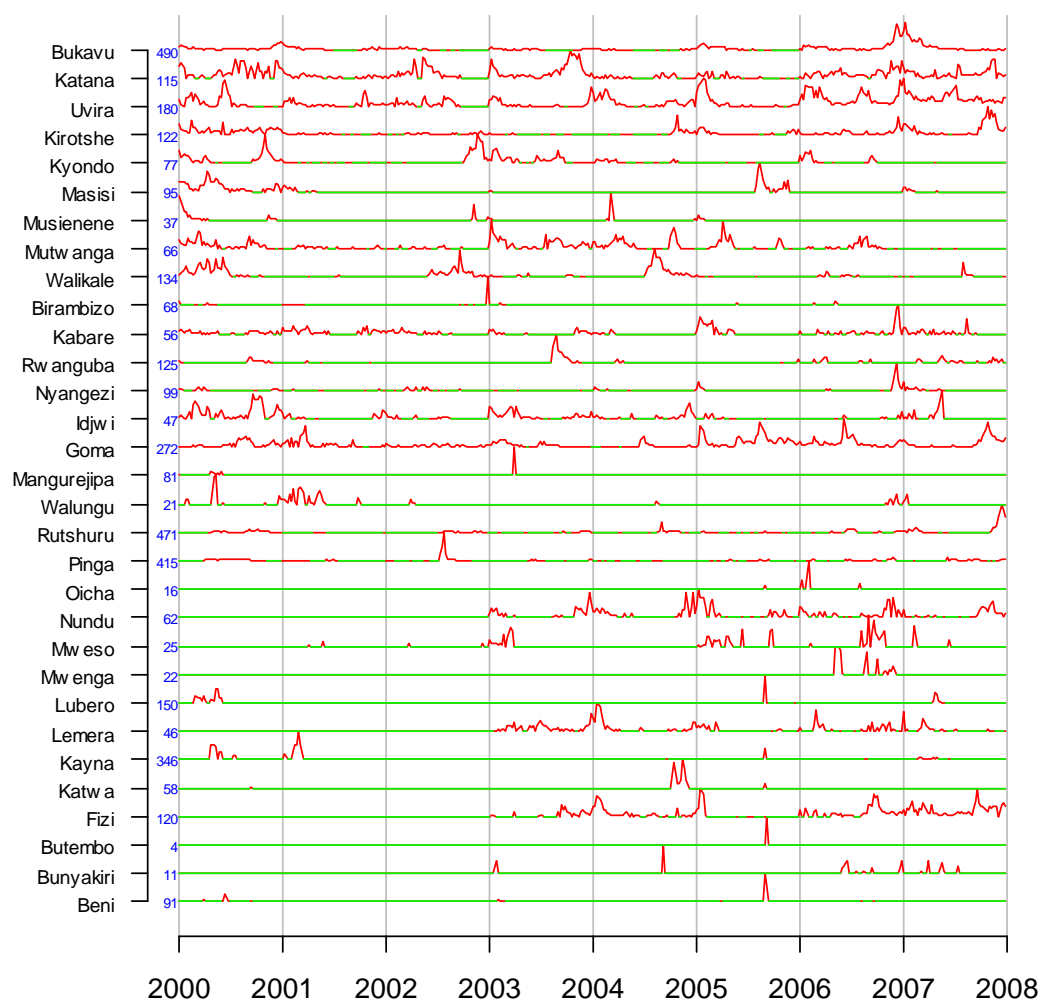


Figure 41 A : Série temporelle hebdomadaire des cas de choléra dans les 31 zones de santé des provinces du Sud-Kivu et du Nord-Kivu, Est de la RDC, 2000-2007.

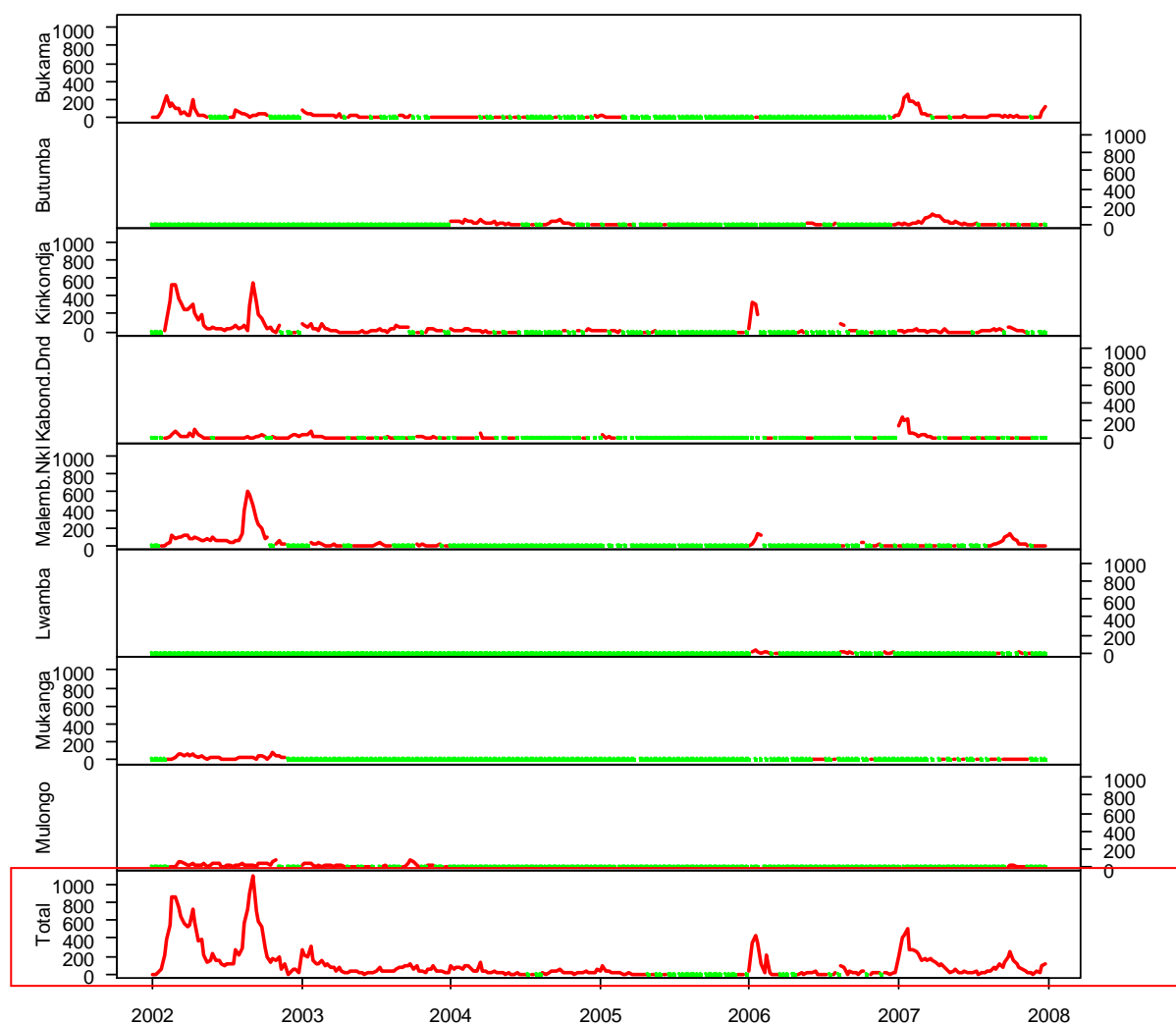


Figure 41 B: Série temporelle hebdomadaire des cas de choléra dans les huit zones de santé composant la région de Bukama, Katanga, Est de la RDC, 2000-2007.

D'après cette figure, globalement, entre 2002 et 2007, il y a eu dans la région des lacs centraux du Katanga, plusieurs périodes d'interruption totale de notification des cas de choléra. La période la plus longue a été observée en 2005, avec plus de six mois d'accalmie totale, sans un seul cas de choléra rapporté dans cette région lacustre.

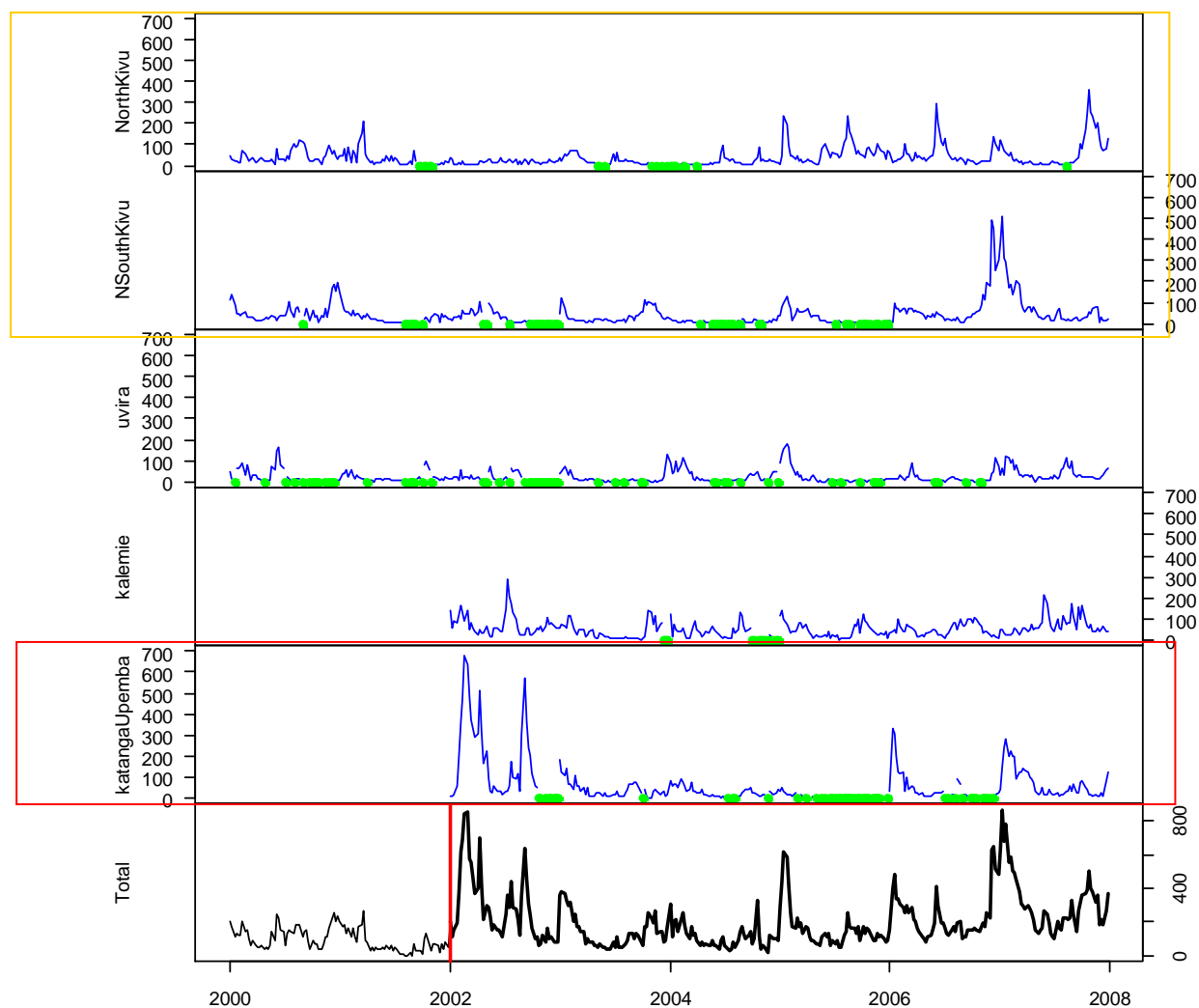


Figure 42: Série temporelle hebdomadaire des cas de choléra dans les cinq régions de l'est de la RDC, 2000-2007.

Cette figure montre cinq séries temporelles de cas de choléra correspondant aux cinq principaux foyers lacustres de l'est de la RDC (Goma-Kirotshe, Bukavu-Katana, Uvira, Kalemie et les zones des lacs centraux du Katanga dont Upemba) ainsi qu'un graphique (« Total ») représentant la série temporelle des cas de choléra rapportés dans l'ensemble de la région Est de la RDC.

Cette figure matérialise en vert les semaines où aucun cas n'était déclaré dans des zones lacustres de l'est de la RDC.

On peut donc remarquer que, prises isolément, chacune de ces séries temporelles révèle l'existence de périodes d'absence totale de choléra. En revanche, le graphique cumulant de toutes ces séries traduit une continuité des cas de choléra tout au long de la période d'étude.

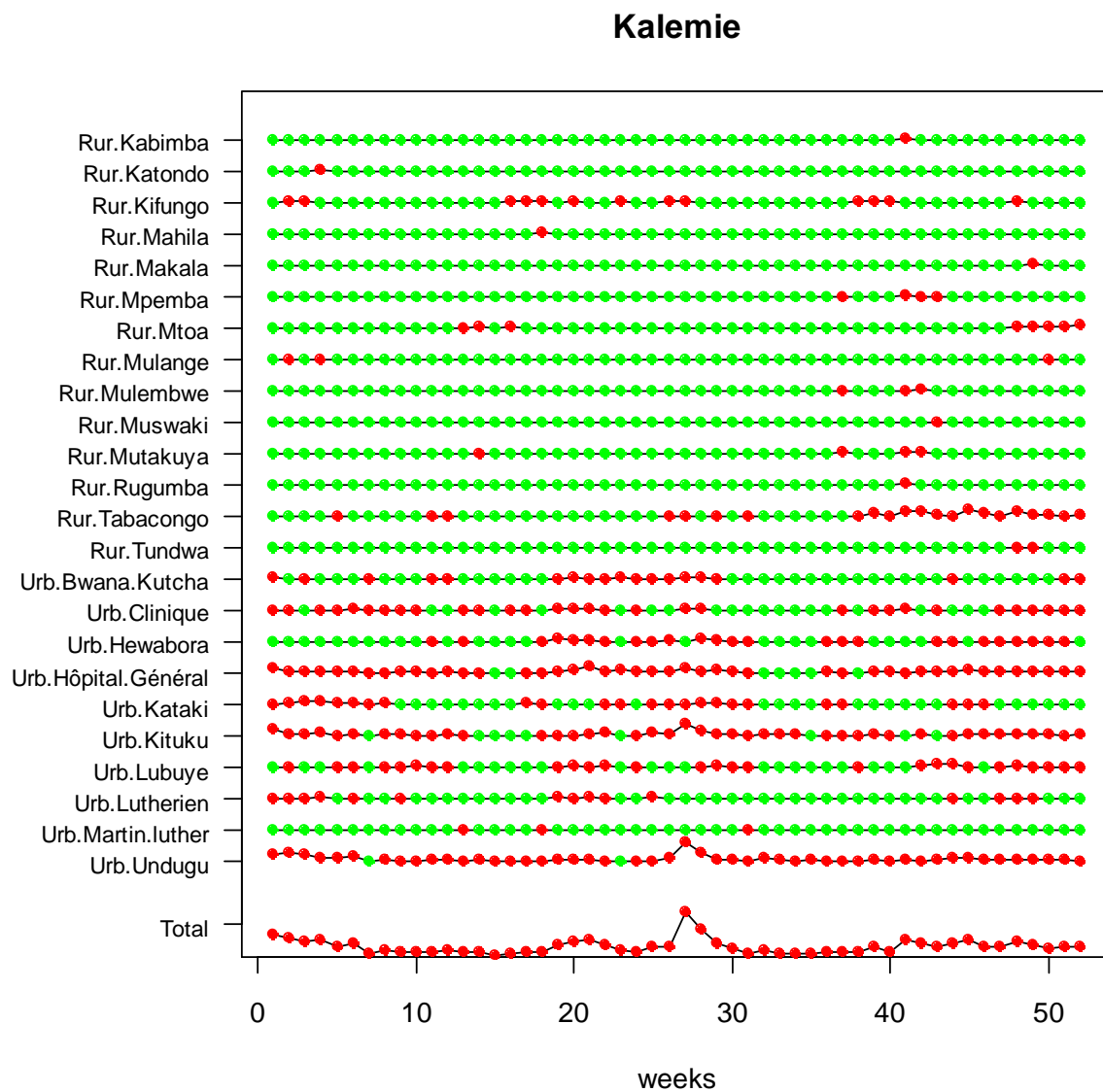


Figure 43 : Incidence hebdomadaire des cas de choléra par aires de santé, Kalemie, Katanga, 2008

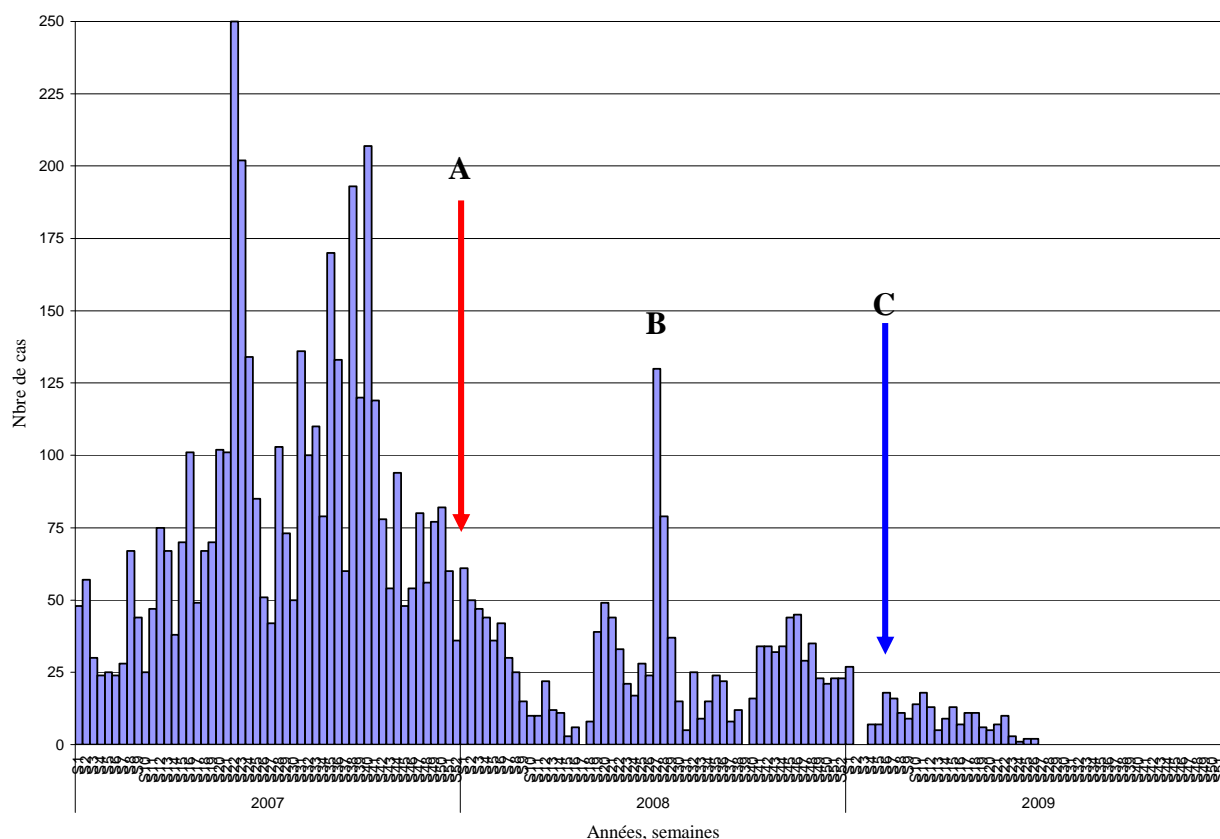


Figure 44: Série temporelle de cas de choléra à Kalemie, Katanga, de la semaine 1, 2005 à la semaine 22, 2009.

A : Première phase de mise en oeuvre des premières actions de renforcement du système de surveillance épidémiologique. Installation des premières « hyper bornes fontaines ».

B : Phase de lancement de la surveillance individuelle, avec recherche de facteurs de risque, sensibilisation ciblée, actions de chloration au seau avec positionnement des sites de chloration variant avec les localisations de clusters de cas de choléra dans la cité, sensibilisation dans les écoles, et autres lieux publics. Tout cela de façon continue malgré l'accalmie observée depuis le début de l'année.

C : Ce pic de cas observés à Kalemie en 2008, correspondait à une rupture de la fourniture d'eau par la REGIDESO dans la cité (suite à une panne prolongée d'électricité due à la défaillance du barrage hydroélectrique de Bendera)

Depuis le début de l'année 2009, il a été rapporté 278 cas de choléra sans décès. A la même période (premier semestre) des années 2008 et 2007, il était rapporté respectivement 687 et 1 881 cas de choléra. Au premier semestre 2009, la moyenne hebdomadaire des cas rapportés était de 9 cas, contre 26 ou 72 respectivement pour les années 2008 et 2007. Le nombre hebdomadaire de cas de choléra rapporté à Kalemie a progressivement baissé jusqu'à atteindre le chiffre de 2 cas à la semaine 26 (dernière semaine du premier semestre). Du 8 février au 16 mai 2009, 112 prélèvements de selles ont été analysés. Il y a eu au total 54 échantillons négatifs (48 %), 3,6 % (4/112) d'échantillons positifs pour *Salmonella species* et 36 % (40/112) échantillons positifs au *Vibrio cholerae* O1 serotypes Ogawa (n=35) et Inaba (n=5). Sur les 5 dernières semaines du premier semestre 2009, les 17 échantillons de selles qui ont été analysés ont seulement révélé la présence de *Salmonella species* dans 9 échantillons.

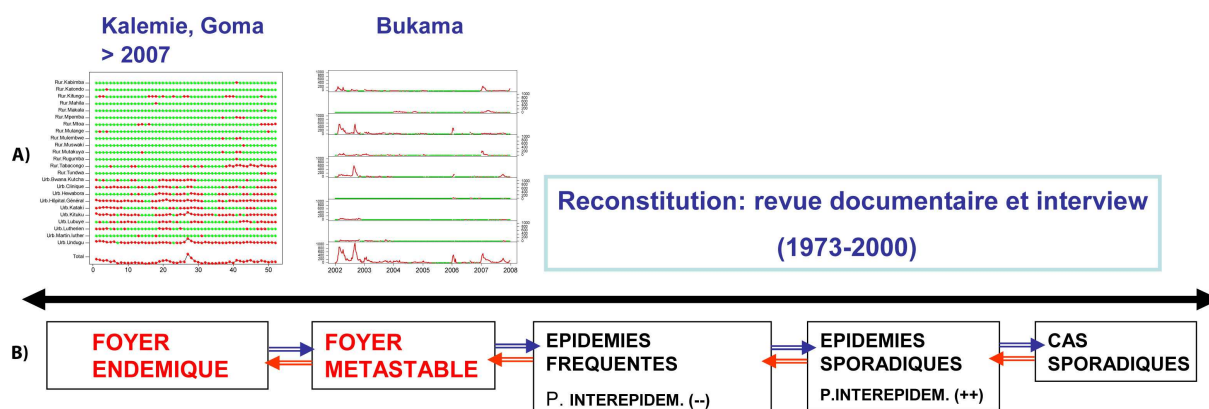


Figure 45 : (A) Evolution de la situation du choléra par foyer.
 (B) : Cycle des changements d'état du choléra au niveau environnemental dans la région des Grands Lacs africains.

P. NTEREPIDM. (--) : Phase interépidémique plus courte

P. NTEREPIDM. (++) : Phase interépidémique plus longue

Analyse des réponses opérationnelles apportées au choléra en RDC jusqu'en 2007

Pour les ripostes aux flambées épidémiques, les équipes locales étaient aidées par les équipes d'urgence des ONG humanitaires internationales, les agences des Nations Unies, et d'autres agences comme le CICR, les équipes locales de la Croix Rouge.

L'analyse des rapports d'investigation a montré que toutes les flambées épidémiques de choléra dans les grandes villes (Lubumbashi, Likasi, Mbuji Mayi) ont fait l'objet d'une intervention des équipes extérieures en appui aux équipes locales. Dans ces grandes villes, le programme des interventions comprenait la prise en charge curative des cas dans les centres de traitement du choléra, la sensibilisation dans les lieux publics en période de flambée, et quelquefois la distribution d'eau potable aux populations à travers la pose de réservoirs de 5m³ dans les lieux publics.

Dans les zones lacustres du Katanga et du Kasai Oriental, dans la série des rapports analysés sur la période 2002-2005, des interventions des équipes extérieures n'ont été observées que pour 17 flambées épidémiques sur 54 rapportées dans la même période. Dans ces zones lacustres, les interventions étaient focalisées essentiellement sur la prise en charge curative des cas de choléra et sur des actions de sensibilisation souvent limitées aux abords immédiats du CTC. La durée moyenne des interventions des équipes extérieures était de 6 semaines (2 à 20) en zone lacustre contre 20 semaines dans les grandes villes (10 à 30).

Dans deux zones lacustres, une du Katanga (Malemba Nkulu, dans la région des lacs du centre du Katanga) et l'autre du Nord-Kivu (Mutwanga, autour du lac Edward), des programmes de lutte contre le choléra ont permis de faire disparaître durablement les cas de choléra. A Malemba Nkulu, en plus d'une très bonne prise en charge curative, le programme avait permis d'améliorer la distribution de l'eau potable dans la cité de Malemba Nkulu (environ 70 000 habitants en 2002) en travaillant avec les équipes de la REGIDESO. Ce projet comportait également un volet spécifique dont les actions étaient focalisées sur les populations de pêcheurs vivant dans les îlots flottant sur le lac. Les plus importantes de ces actions étaient la sensibilisation dans les campements, les pirogues médicalisées (des UTC-ambulants) sillonnant le lac et visitant journalièrement les campements en période d'afflux des pêcheurs et des commerçants, un renforcement de la surveillance des cas provenant des campements et leur acheminement direct vers le centre de traitement de Malemba Nkulu par les pirogues médicalisées.

Des lieux fixes étaient déterminés dans les différents petits ports de Malemba Nkulu pour l'accueil des cas suspects de choléra en provenance des campements. Des équipes de la Croix Rouge locale appuyées par l'ONG Médecins Sans Frontières France s'occupaient de cette chaîne d'acheminement « sécurisée » des cas suspects vers le CTC. Des distributions de jerrycans étaient réalisées dans les campements, ainsi que de matériel de pêche (par l'ONG Actions Contre la Faim section USA).

A Mutwanga, le projet avait consisté à la construction de plusieurs puits et l'aménagement des plusieurs sources dans les principaux villages proche du lac rapportant

des cas de choléra. Ce projet avait été réalisé par le Bureau Diocésain des Œuvres Médicales au Congo.

Synthèse des résultats et bases du plan de lutte opérationnelle

Après toutes ces analyses, il ressort que le choléra demeure encore un problème majeur de santé publique en RDC en général et plus particulièrement dans les provinces du Katanga, du Sud-Kivu du Nord-Kivu et la Province Orientale

Les zones sanctuaires du choléra.

Quelques zones lacustres situées à l'est de la RDC constituent des zones sanctuaires du choléra en jouant un rôle de réservoir de la maladie en période d'accalmie. Les redémarrages épidémiques repartent de ces zones sanctuaires pour diffuser ensuite vers des zones éloignées comme de grandes villes où les épidémies sont souvent explosives, focalisant ainsi toute l'attention des médias et l'essentiel de la réponse opérationnelle. L'évolution du choléra dans les sites de Goma et de Kalemie présente la plus forte tendance à l'endémisation.

Les zones de forte expression du choléra

Il s'agit de grandes villes (Lubumbashi, Mbuji Mayi, ...) situées à distance des zones lacustres. Ces villes ne sont que des espaces d'expression du choléra, leur principal problème réside dans un déséquilibre entre une démographie en perpétuelle croissance et une dégradation des infrastructures de distribution en eau potable, infrastructures qui, de plus, n'ont pas suivi le niveau de croissance de ces villes. Quelles que soient la durée et l'explosivité de l'épidémie, des actions coordonnées permettent toujours de revenir à une situation de zéro cas.

Les périodes d'accalmie entre les flambées épidémiques de choléra sont généralement situées entre fin juin et début septembre. Pendant ces périodes, les quelques cas résiduels se concentrent dans les zones sanctuaires. C'est la période où la maladie semble la plus vulnérable à un ensemble d'actions coordonnées, mais c'est aussi la période où la lutte s'interrompt car l'incidence des cas de choléra se situe en deçà des seuils d'intervention.

Les populations et les catégories professionnelles spécifiques

Les pêcheurs (dans les zones lacustres) et les commerçants (provenant des grandes villes vers les zones lacustres) sont des populations particulièrement impliquées dans la diffusion des épidémies de choléra depuis les zones sanctuaires vers les grandes villes situées à plusieurs kilomètres de distance. La prise en compte de la périodicité de leurs activités et de leurs déplacements entre ces deux types d'espaces pourrait permettre de mieux anticiper les épidémies.

Les voies et les modes de diffusion

Les flambées épidémiques du choléra partent des zones sanctuaires vers les zones de forte expression, accompagnant les mouvements des populations de pêcheurs et de commerçants, ou plus rarement les mouvements de personnes déplacées lors des conflits. Les voies empruntées sont les voies fluviales et lacustres, les chemins de fer et les routes. Les principaux moyens de déplacement utilisés sont les bateaux, les trains et les grands véhicules de transport en commun. Les lieux de départ et d'arrivée de ces moyens de transport, à savoir les ports, les gares ferroviaires, les routes principales et les gares routières, devraient faire l'objet d'une vigilance accrue pour anticiper les diffusions d'épidémies.

Inadaptation des stratégies de lutte

Jusqu'avant la diffusion des résultats de nos études épidémiologiques, les actions de lutte n'étaient pas focalisées sur les zones lacustres. L'apport en eau potable et l'assainissement ne constituaient que des activités sporadiques et centrées au niveau des Centres de Traitement des cas de choléra. Aucune stratégie de lutte ne s'intéressait à ce qui se passe durant les périodes d'accalmie. Les pêcheurs et les commerçants n'étaient pas pris en compte dans les activités de lutte contre les épidémies de choléra.

II. Application opérationnelle : le plan d'élimination du choléra en RDC et le projet pilote à Kalemie

Sur la base des résultats de l'étude sur la dynamique du choléra en RDC, il a été proposé au Ministère de la Santé Publique de la RDC une codification de la stratégie de lutte contre le choléra sous la forme d'un plan stratégique. Le but de ce plan stratégique de lutte contre le choléra est de parvenir à l'élimination du choléra en RDC d'ici 2012. En décembre 2007, le document de base a été revu, analysé et adopté au cours d'un atelier de travail organisé à Kinshasa, 17 au 18 décembre 2007. Le plan stratégique d'élimination du choléra en RDC constitue actuellement avec les Directives de Lutte contre le choléra, les deux documents de référence de la lutte contre le choléra en RDC.

Synthèse du plan de mise en oeuvre

Le lobbying, première étape, a consisté à réaliser une série de communications auprès des principaux acteurs traditionnels impliqués dans la lutte contre le choléra en RDC. Il s'agit de l'UNICEF, de l'OMS, le CICR, de MSF, de MDM, de ACF. D'autres institutions ayant des compétences dans le domaine de l'hydraulique urbaine (comme la Fondation Veolia Environnement) se sont investies dans ce projet. Des agences de financement ont également été sensibilisées à ce projet. Il s'agit de l'Agence Française de Développement (AFD), de l'ambassade de France et d'ECHO (l'agence de financement des actions humanitaires d'urgence de l'Union Européenne).

Conformément au cinquième axe stratégique du plan d'élimination du choléra, une ébauche de pacte entre les différents partenaires pour la mise en oeuvre du plan de lutte a été progressivement mise en place. Ce premier noyau du pacte a été formé par le Ministère de la Santé Publique (représentée par la DLM et l'INRB), le laboratoire chrono-environnement, UMR 6249, CNRS, la Fondation Veolia Environnement et son ONG Waterforce, puis l'ONG Solidarités. Ces quatre institutions sont les premières à s'être engagées à collaborer pour la mise en oeuvre de la première phase du plan d'élimination du choléra.

A côté du travail collectif de ce groupe de quatre, d'autres institutions ou organisations ont été impliquées dans différents autres volets de la mise en oeuvre du plan de lutte contre le choléra. Parmi ces organisations, l'ONG Médecins Du Monde, Médecins Sans Frontières Belgique et l'UNICEF.

L'ONG **Médecins Du Monde** a été la première à utiliser les orientations de ces résultats scientifiques en ciblant ses projets de lutte contre le choléra vers les zones lacustres dont Kalemie. L'UNICEF, après avoir été convaincu de la pertinence de la stratégie du plan de lutte proposé, s'est efforcé d'en faire la promotion auprès des ONG humanitaires travaillant dans le domaine de l'eau et de l'assainissement à l'est de la RDC et dépendant des fonds gérés par l'UNICEF à travers le cluster Wash. Par ailleurs, l'UNICEF a financé durant trois mois, la publication du bulletin du projet d'élimination du choléra en RDC, en sigle le BELICHOL. L'association **Médecins Sans Frontières Belgique** a financé l'évaluation de la situation épidémiologique du choléra dans la région de Bukama, l'un des sites sanctuaires prioritaires pour la mise en oeuvre du projet. Le diagnostic de la situation épidémiologique du choléra et celui de la couverture en eau

potable, l'assainissement et les conditions de vie des populations en zone lacustres ont permis à MSFB d'élaborer un projet de réponse globale à la problématique du choléra dans ce site sanctuaire.

Afin de jouer pleinement son rôle de coordonnateur de ce plan d'élimination du choléra en RDC, la DLM s'est dotée d'un instrument opérationnel spécifique. Il s'agit de la Cellule de coordination et de suivi du plan d'élimination du choléra en RDC. Cette cellule choléra a été conçue pour avoir une structure pyramidale avec un sommet à la DLM et sept bases, une au niveau de chaque site sanctuaire. Pour le compte de la DLM, c'est donc la cellule choléra qui représente le Ministère de la Santé dans le pacte de partenaires mis en place.

Pour la mise en oeuvre, il a été prévu un plan en plusieurs phases parmi lesquelles :

- **l'identification d'un site pilote ;**
- **la réalisation des missions de diagnostic de situation** (épidémiologie, eau et assainissement) ;
- **la rédaction de la proposition de projet de mise en oeuvre dans le site pilote ;**
- **le démarrage des actions de mise en oeuvre du projet ;**
- **l'évaluation du projet ;**
- **le passage aux autres sites pour reprendre les mêmes séquences.**

Parmi les sept sites sanctuaires identifiés (Kalemie, Bukama, Kasenga, Uvira, Bukavu, Goma, Bunia, figure 46), il a été prévu de lancer la phase pilote à Kalemie. Kalemie est le point d'entrée du choléra à l'est de la RDC (septembre 1977). C'est la zone sanctuaire la plus touchée, c'est également celle où la tendance endémique est la plus évidente.

Entre août 2006 et janvier 2009, trois missions ont été réalisées à Kalemie.

La première a été réalisée en août 2006. Elle avait pour objectifs de comprendre la situation épidémiologique et d'évaluer l'organisation de la prise en charge des cas de choléra et le mode de vie des populations locales avec un accent particulier sur le mode de vie des pêcheurs. Cette mission a été réalisée avec l'aide logistique de l'ONG Médecins Du Monde France (MDMF). Les recommandations issues de cette mission ont permis à MDMF d'améliorer les conditions de prise en charge curative des cas de choléra, d'améliorer la surveillance épidémiologique (mise en place de nouveaux registres, mise en place de nouvelles fiches individuelles de prise en charge des cas,...). Cette phase exécutée par MDM en collaboration avec le District sanitaire et les deux zones de santé du territoire de Kalemie (Kalemie et Nyemba) a été financée par ECHO.

Les deuxième (décembre 2007) et troisième (janvier 2009) missions ont été réalisées par une équipe mixte composée de médecins épidémiologistes de la Direction de la Lutte contre la Maladie, de chercheurs du laboratoire chrono-environnement, UMR 6249, CNRS, d'ingénieurs de la Fondation Veolia Environnement et de l'ONG

Waterforce, des volontaires de l'ONG Solidarités et des ingénieurs de la REGIDESO de Kalemie (entreprise nationale chargée de la production et de la distribution de l'eau potable). Les recommandations issues de ces deux missions ont permis de rédiger la proposition de projet pour le démarrage de la mise en oeuvre de la phase pilote à Kalemie.

Les enseignements et l'expérience engrangée dans le site sanctuaire de Kalemie, devraient être utilisés pour l'extension de la mise en oeuvre à d'autres site (à l'exception de ceux pour lesquels des recherches de solutions sont déjà en cours comme Bukama avec MSFB).

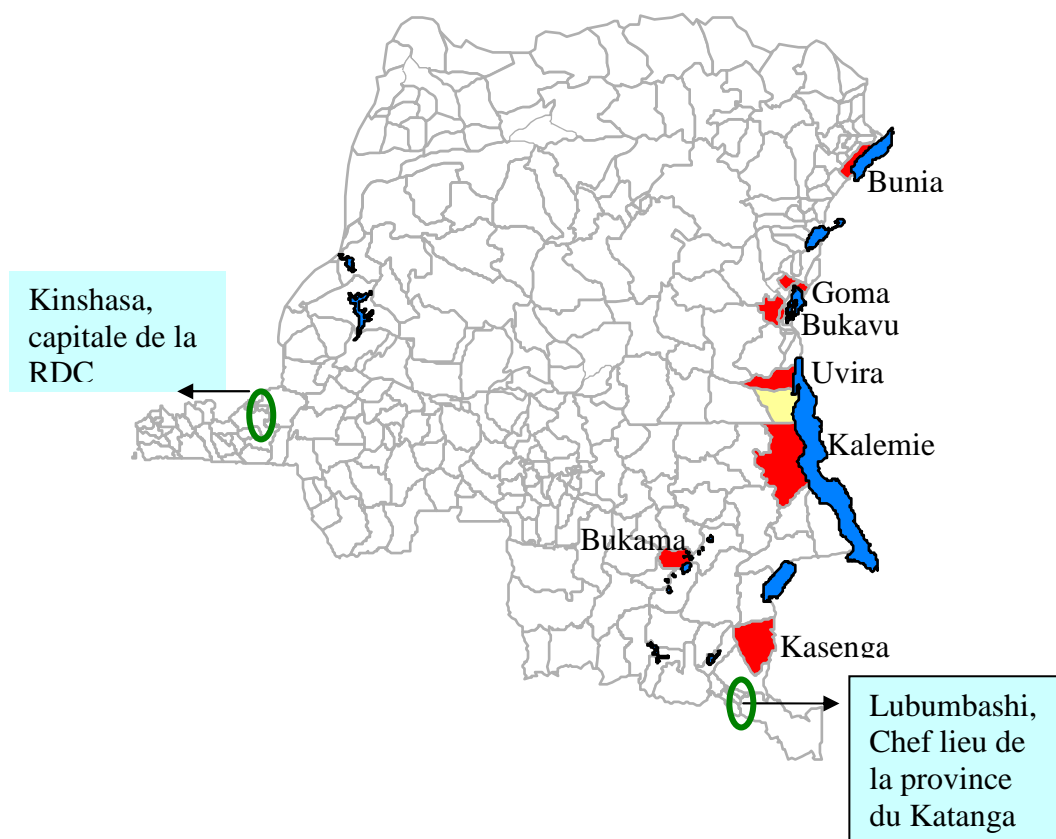


Figure 46 : Les sept régions sanctuaires du choléra en RDC, cibles prioritaires pour la mise en oeuvre du plan stratégique d'élimination du choléra

Par région, on désigne un groupe de zones de santé.

- Pour la région de Bukama, on retrouve les zones de Bukama, Butumba, Kinkondja et Malemba Nkulu. Mais les zones de Bukama et Butumba restent les principales priorités de la région ;
- Pour la région de Kasenga, on retrouve les zones de Kasenga, Kilwa et Pweto. Kasenga reste la principale priorité ;
- Pour la région de Kalemie, on retrouve les zones de Kalemie et de Nyemba, toutes deux dans le territoire de Kalemie ;
- Pour la région de Uvira, on retrouve le groupe des zones de Uvira, Fizi, Baraka, mais la zone de Uvira reste la principale priorité ;
- Pour la région de Bukavu, on retrouve les trois zones de la ville de Bukavu (Bagira, Kadutu, Ibanda), et la zone de Katana ;
- Pour la région de Goma : les deux zones de la ville de Goma (Goma et Karisimbi), et la zone de Kirotshé ;
- Pour la région de Bunia : les zones de Bunia, de Rethy, Drodro et Tchomia. Les zones de Bunia et de Rethy sont les priorités dans cette région.

Le projet pilote de Kalemie

Jusqu'en 2007, Kalemie rapportait annuellement en moyenne 3 000 cas de choléra et un peu plus de 30 décès. La mise en œuvre de la phase pilote de ce projet à Kalemie (en 2008) a été précédée de deux missions de diagnostic sur le terrain. Ces missions avaient pour objectif d'établir un diagnostic précis de la situation épidémiologique et de la situation de la problématique de l'eau et de l'assainissement dans la cité de Kalemie et les localités rurales avoisinantes. Lors de ces missions, les principaux responsables locaux, les acteurs de la société civile, ainsi que les ONG nationales et internationales intervenant à Kalemie ont été consultés. Ces consultations de Kalemie avaient été précédées par des rencontres avec des responsables de la province du Katanga à Lubumbashi.

Le diagnostic épidémiologique du choléra à Kalemie a permis de mettre en évidence une grande hétérogénéité spatiale avec une concentration des cas de choléra dans les aires de santé situées le long du lac. Les cas de choléra sont pour plus de 90 % des cas concentrés dans la cité de Kalemie. Là, les aires de santé situées en bordure à la fois du lac et de la rivière Lukuga sont les plus touchées (Undugu et Hôpital Général de référence). Même à Undugu et HGR, toutes les rues ne sont pas touchées de façon homogène (Tableau VI).

L'autre facteur ayant une influence notoire sur la dynamique des cas de choléra dans la cité de Kalemie, c'est la disponibilité en eau. En effet la répartition des cas de choléra est très tributaire de la répartition des ressources en eau et chaque interruption de fourniture en eau potable par la REGIDESO était systématiquement suivie d'une augmentation du nombre de cas de choléra rapportés à Kalemie. Dans les quartiers où l'eau est difficile d'accès, les populations qui utilisaient plus les puits (quartier Lubuye) paraissent moins touchées que celles utilisant l'eau du lac et surtout de la rivière Lukuga.

Les études menées sur la problématique de l'eau ont permis de mettre en évidence deux types de corrélation entre accès à l'eau et développement du choléra:

- **corrélation spatiale** : les quartiers les plus touchés par le choléra sont les quartiers mal desservis par le réseau d'eau de la Regideso, quartiers où les personnes utilisent alors l'eau du lac Tanganyika (quartier de Kataki) ou de la rivière Lukuga (quartiers de Undugu, Hôpital Général et Kituku) comme eau de boisson. La rivière Lukuga est d'autre part le déversoir de plusieurs canaux d'évacuation des eaux usées.

- **corrélation temporelle** : plusieurs pics épidémiques de choléra dont ceux des années 2007 et 2008 peuvent partiellement être expliqués par des ruptures de l'approvisionnement en eau (coupure de l'alimentation électrique impliquant un arrêt d'usine de plusieurs jours ou réparation majeure sur le réseau primaire impliquant un arrêt de la distribution)

En se basant sur ce double diagnostic, les partenaires engagés dans ce projet ont proposé une démarche en deux phases pour répondre à la problématique des questions liées à l'eau potable à Kalemie :

- **Phase 1** : engager des actions basées sur la connaissance des besoins prioritaires et compléter le travail de recueil de données et d'études complémentaires nécessaires à tout projet à long terme

- **Phase 2** : proposer un projet d'envergure répondant à l'ensemble des besoins en eau et assainissement de la ville de Kalemie et permettant d'aboutir à l'élimination du choléra de ce site sanctuaire.

Les premières actions mises en œuvre

1. Le renforcement et l'amélioration du système de surveillance épidémiologique à Kalemie

Le système de surveillance épidémiologique du choléra à Kalemie a été renforcé par l'ajout d'un suivi hebdomadaire des cas et décès de choléra rapportés à l'échelle des quartiers et des avenues (ou des blocs). Un autre système de surveillance permet de suivre durant les phases d'accalmie (moins de 20 cas par semaine à Kalemie), de façon individuelle, tous les cas suspects de choléra admis au Centre de Traitement des Maladies Diarrhéiques de Kalemie. Une enquête est ensuite conduite depuis le lit d'hospitalisation jusqu'au domicile de provenance du patient. Autour du domicile du patient, deux sujets témoins par cas de choléra suspects sont aussi identifiés et sont interrogés à la recherche de facteurs de risque spécifiques pour le choléra dans les quartiers. Sur le plan biologique, le système de confirmation bactériologique des cas suspects de choléra rapportés à Kalemie a été renforcé en particulier pendant la période d'accalmie.

2. L'amélioration de la prise en charge et du suivi des patients dans le Centre de Traitement du choléra (CTC) de Kalemie

Plusieurs supervisions ont été réalisées dans le CTC de Kalemie. Toutes ces supervisions sont l'occasion d'améliorer au quotidien le niveau de formation du personnel infirmier. L'essentiel de ce renforcement des compétences était basé sur des éléments de base de la surveillance épidémiologique afin d'attirer leur attention sur l'importance des données individuelles des cas admis au CTC et repris dans les registres.

L'évaluation des registres avait permis de constater qu'il existait des cas repris dans le registre comme « cas non-choléra », mais présentant tout de même de la diarrhée. Cette pratique était fréquente pour faciliter l'accès d'autres patients à la gratuité des soins administrés au CTC. Ainsi, dans le Document des directives de lutte contre le choléra en RDC qui a été rédigé, il a été recommandé de transformer les CTC en centre de traitement des maladies diarrhéiques (CTMD).

3. Les actions de sensibilisation

Elles sont de trois types : la communication dans les écoles, la communication dans les lieux publics (marchés, ports, gares), ainsi que la communication auprès des foyers environnant celui d'un éventuel cas suspect traité au centre de traitement des maladies diarrhéiques (CTMD). Ce troisième type de sensibilisation est appelé : « sensibilisation ciblée »

4. Le projet d'amélioration de l'accès à l'eau potable à Kalemie et d'amélioration du système de surveillance épidémiologique à Kalemie

Les premières actions mises en place à Kalemie pour assurer une augmentation des apports en eau potable à la population concernaient des activités de « chloration au seuu ». Ces activités étaient mises en oeuvre durant les périodes de flambées épidémiques.

Les premières actions à caractère durable mises en oeuvre à Kalemie concernent un programme d'installation de 20 bornes fontaines appelées « hyper bornes fontaines » dans différents quartiers de la cité de Kalemie (Figure 47).

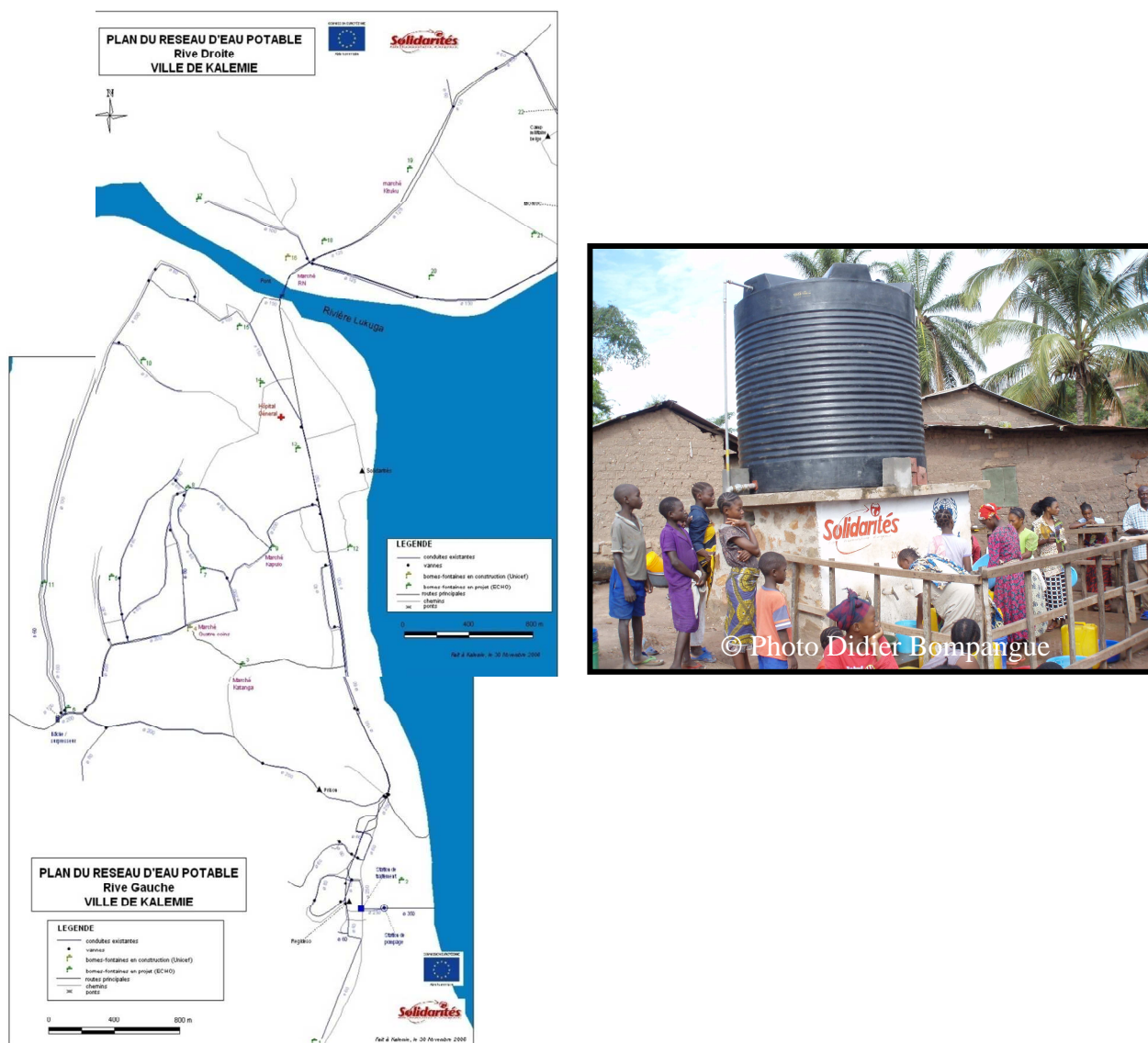


Figure 47 : « Hyper bornes fontaines » et cartographie de leur disposition à Kalemie.

Les « hyper bornes fontaines » sont de grands réservoirs de 10 m³ avec 10 robinets par bornes, installés par l'ONG Solidarités dans les quartiers mal desservis en eau par la REGIDESO.

Le réseau de distribution en eau potable a fait l'objet d'une étude détaillée faisant le point sur la situation en matière d'accès aux services d'eau et d'assainissement. Ce diagnostic s'était appuyé sur:

- **l'analyse technique de l'existant** : infrastructure de production d'eau, réservoirs de stockage et réseau de distribution, laboratoire de contrôle des eaux ... ;
- **l'analyse des institutions en charge de la gestion des eaux** et le cas échéant, diagnostic du fonctionnement de la Regideso ;
- **l'analyse financière et le bilan comptable des exploitations** ;
- **l'analyse des différents niveaux de service pour l'eau, l'hygiène et l'assainissement et de leurs conditions d'accès par les populations**

Une seconde phase a permis de définir un plan d'action concerté avec l'ensemble des parties prenantes définissant les actions prioritaires à mener.

Une troisième phase a consisté, enfin, à la réalisation d'une étude détaillée et chiffrée des infrastructures de production et de stockage à réaliser ou à rénover et des travaux de réhabilitation ou d'extension des réseaux. Un avant-projet détaillé (APD) et un Cahier de clauses techniques particulières (CCTP) ont été rédigés. Une topographie complète de toute la cité de Kalemie a été réalisée pour aider à la réalisation des travaux ultérieurs sur le réseau de distribution d'eau. Le budget global de la mise en oeuvre du programme à Kalemie a été finalement évalué à plus de sept millions d'euros, dont 70% correspondent à des travaux d'infrastructure. La recherche de financements est en cours.

Suivi et évaluation du programme et de l'évolution des cas de choléra à Kalemie en 2008

Le suivi de l'évolution des cas de choléra à Kalemie a été fait à partir des données générées par le système de surveillance épidémiologique spécifique mis en place à Kalemie. A cette surveillance, s'est ajoutée la surveillance de certains indicateurs qualitatifs. Il s'agit de la surveillance des mouvements de population, de la production et la consommation d'eau à Kalemie par la REGIDESO et au niveau des « hyper bornes fontaines ». Les enseignements et l'expérience engrangés à Kalemie permettront de poursuivre la mise en oeuvre du projet sur d'autres sites. Après Kalemie, le prochain site programmé pour le début de la mise en oeuvre du projet est Uvira.

Résultats du suivi épidémiologique du choléra à Kalemie en 2008

En 2008, 1 293 cas et cinq décès (soit une létalité de 0,38%) ont été rapportés à Kalemie. Sur les 54 aires de santé que compte Kalemie, 25 ont rapporté au moins un cas de choléra cette année 2008. La partie urbaine de la zone, la ville de Kalemie (60% de la population, 80% de cas) concentre l'essentiel des cas de choléra rapportés. Les aires de santé situées sur les rives du lac et/ou de la rivière Lukuga représentent 87% des cas (955 cas/1093) notifiés dans la ville de Kalemie. L'aire de santé de Undugu (au confluent du lac et de la rivière Lukuga), 9 000 habitants, a rapporté 34,5% (377 /1093) des cas notifiés dans la partie urbaine de Kalemie., Dans cette aire de santé, non desservie par le réseau

d'adduction d'eau, les habitants doivent s'approvisionner à la rivière, en aval des égouts de la ville.

C'est autour de certains de ces points de puisage d'eau de surface, que les acteurs locaux de la lutte contre le choléra installent des points de chloration (Figure 48 A et B). Les autres quartiers sont diversement touchés par le choléra (Tableau VII) mais ils ont connu des périodes de rémission plus ou moins longues. Cependant, ils ont régulièrement été exposés à des flambées prenant leur origine dans l'aire de santé d'Undugu où le choléra est devenu endémique. De même, les aires rurales autour de Kalemie peuvent aussi être touchées par des flambées épidémiques favorisées par les mouvements de pêcheurs en provenance de quartiers touchés à Kalemie.



A



B

Figure 48 : Undugu

A : Population de Undugu prenant l'eau dans la rivière Lukuga et au niveau du Lac Tanganyika.

B. Population de Undugu : Un site de chloration de l'eau de surface puisée par les populations de Kalemie

La « mise à l'eau » des premières bornes fontaines et leur utilisation rationnelle a permis également de contribuer à l'amélioration des apports en eau potable à Kalemie (en attendant de trouver des financements pour les actions durables d'amélioration du fonctionnement de la REGIDESO).

La sensibilisation des populations de pêcheurs, les séances de sensibilisation dans les écoles et dans d'autres lieux publics (marchés, ports, gares), ont également contribué à maintenir la pression sur les populations de Kalemie, les obligeant à veiller sur les mesures d'hygiène simples mais efficaces comme se laver les mains (au savon) ou éviter de manger des fruits non lavés (cas des consommations des mangues non lavées en période de pluie).

La conjugaison de toutes ces activités a conduit, dès l'année 2008, à un début de modification du profil épidémiologique des cas de choléra dans la zone de Kalemie (Figure 44).

Tableau VII : Cas et décès dus au choléra par aire de santé, Kalemie, Katanga, 2008.

<i>Aires santé</i>	<i>Localisation</i>	<i>Cas 2008</i>	<i>Décès</i>	<i>TA (p10 000)</i>
Undugu	Urbaine lac	345	2	318,0
Kituku	Urbaine lac	198	0	185,9
Kataki	Urbaine lac	71	0	99,7
Hôpital Général	Urbaine lac	199	2	99,6
Hewabora	Urbaine plateau	58	0	78,0
Lubuye	Urbaine lac	61	1	60,8
Clinique	Urbaine lac	54	0	40,6
Bwana Kutcha	Urbaine plateau	38	0	30,4
Lutherien	Urbaine lac	27	0	24,0
Kifungo	Urbaine plateau	15	0	20,4
Muchungazi Mwena	Urbaine plateau	23	0	14,7
Martin luther	Urbaine plateau	4	0	7,4
<i>Sous total cité urbaine de Kalemie</i>		<i>1093</i>	<i>5</i>	<i>83,1</i>
Tabacongo	Rural-Lac-Nord	88	0	80,2
Mtoa	Rural-Lac-Nord	26	0	35,9
Mutakuya	Rural-Lac-Sud	8	0	14,0
Mpemba	Rural-Lac-Sud	5	0	10,0
Mulembwe	Rural-Lac-Sud	4	0	5,5
Rugumba	Rural-Lac-Nord	4	0	7,4
Mulange	Rural-plateau	3	0	3,3
Makala	Rural-Lukuga	2	0	3,6
Tundwa	Rural-plateau	2	0	2,3
Kabimba	Rural-Lac-Nord	1	0	1,9
Katondo	Rural-Lac-Nord	1	0	1,7
Muswaki	Rural-plateau	1	0	1,7
Mahila	Rural-plateau	1	0	1,8
<i>Sous total partie rurale de Kalemie</i>		<i>146</i>	<i>0</i>	<i>16,7</i>

TA (p10 000) : Taux d'attaque (nombre de cas rapporté à la population) pour 10 000 habitants.

Résultats de la situation épidémiologique de Kalemie en 2009.

Au premier semestre 2009, la ville de Kalemie a rapporté 232 cas de choléra. Aucun décès n'est survenu dans le centre de traitement. Le système de surveillance communautaire n'a signalé aucun cas de décès survenu des suites d'une diarrhée et de vomissements. Pour la même période (premier semestre) des années 2008 et 2007, il était rapporté respectivement 687 cas et 1881 cas de choléra. Au premier semestre 2009, la moyenne hebdomadaire des cas rapportés était de 9 cas, contre 26 ou 72 respectivement pour les années 2008 et 2007.

Le nombre hebdomadaire de cas de choléra rapportés à Kalemie a progressivement baissé jusqu'à atteindre le chiffre de 2 cas pour la semaine 26 (dernière semaine du premier semestre) (Figure 31). Sur le plan biologique, entre le 8 février et le 16 mai 2009 (semaine 20), 112 prélèvements de selles ont été acheminés de Kalemie pour être analysés dans l'unité des maladies à potentiel épidémique de l'INRB à Kinshasa. Il y a eu au total 54 échantillons négatifs (54%), 3% (4/122) d'échantillons positifs pour *Salmonella sp.* et 33% (40/122) d'échantillons positifs au *Vibrio cholerae* O1 serotypes Ogawa (n=35) et Inaba (n=5).

Sur les cinq dernières semaines du premier semestre 2009, les 17 échantillons de selles qui ont été analysés ont révélé la présence de *Salmonella sp.* dans 9 échantillons. Aucun échantillon n'a pu révéler la présence de *Vibrio cholerae* avec les techniques utilisées.

DISCUSSION

Parmi les fléaux qui, dans l'inconscient collectif, paraissent antiques, mais sont pourtant toujours d'une grande actualité, il y a le choléra, cette maladie causée par le *Vibrio cholerae*, bactérie des zones estuariennes d'Asie du Sud-Est (106, 107).

Entre 1817 et 1923, six pandémies de choléra ont été rapportées dans le monde (96). Toutes ces pandémies ont eu pour origine le delta du golfe du Bengale. Si les zones africaines situées sur le littoral des océans Pacifique et Atlantique avaient très faiblement été touchées, l'Afrique continentale, pour sa part, avait quasiment été épargnée par ces six premières pandémies de choléra (108-110).

Le choléra est donc un phénomène très récent en Afrique continentale (1, 4). Son histoire remonte au début des années 1970 (109, 110) avec la 7^{ème} pandémie qui a débuté en 1961 dans l'archipel des Sulawesi en Indonésie (108). Depuis 1970, plusieurs épidémies de choléra sont rapportées dans plusieurs pays d'Afrique dont la République Démocratique du Congo. Aujourd'hui, de par le nombre de cas rapportés par l'OMS, le choléra qui avait toujours été une maladie asiatique est devenu une maladie africaine. Le choléra y est considéré comme le corollaire des guerres, des grandes crises humanitaires et de certaines catastrophes naturelles (111, 112, 113), mais cette image, largement vulgarisée par la presse, n'est pas toujours le reflet de la vérité.

Si la gestion de la maladie dans les cas de déplacés internes et de réfugiés a été parfaitement maîtrisée (8), la situation est plus complexe pour les épidémies de choléra survenant dans de grands espaces ouverts. En dehors des publications rapportant des études cas-témoins (20, 21) ou des descriptions ponctuelles d'épidémies (114), il y a très peu de travaux menés en Afrique pour comprendre les facteurs qui sous-tendent la dynamique des épidémies de choléra en Afrique.

L'hypothèse de départ de ce travail était qu'une meilleure connaissance de la dynamique des épidémies de choléra en RDC à travers l'identification des aires géographiques, des périodes de temps et des catégories de population particulièrement touchées et/ou jouant un rôle important dans le déclenchement et l'expansion des flambées épidémiques, allait permettre la mise en oeuvre de nouvelles approches de lutte contre le choléra.

L'enjeu de santé publique de ce travail, qui ne concernait pas seulement la RDC, mais aussi d'autres pays d'Afrique, est de vaincre le fatalisme prévalant dans le milieu de la lutte contre le choléra et de démontrer par l'exemple qu'un plan d'élimination du choléra était envisageable et réaliste.

Pour parvenir à la réalisation de ces objectifs, il a fallu entreprendre ce travail et persévérer dans un contexte parfois précaire et un environnement pas toujours facile. Malgré des conditions de déroulement très difficiles, les résultats de ce travail ont permis la naissance d'une nouvelle conception de l'épidémiologie du choléra en Afrique continentale. Après avoir présenté et argumenté les limites de nos approches méthodologiques, nous présenterons et discuterons des principaux résultats du travail en les confrontant aux données issues de la littérature. La dernière partie de la discussion sera consacrée aux perspectives d'élimination du choléra en RDC et de généralisation de l'approche à d'autres pays d'Afrique concernés par cette problématique.

D'après les données obtenues auprès de l'OMS (1, 6) et d'autres auteurs (4), les premiers cas de choléra rapportés dans la région des Grands Lacs remontent à 1971. Le Kenya (239 cas) puis l'Ouganda (757 cas) sont les premiers pays à avoir été touchés. La République Démocratique du Congo a ensuite été touchée en deux temps : d'abord, en 1974, à l'ouest par le Bas Congo (avec des cas index en provenance de l'Angola), puis, en septembre 1977, par Kalemie, dans la région du lac Tanganyika, province du Katanga (avec des cas index en provenance de Kigoma en Tanzanie). Mais, alors que le choléra a fini par s'éteindre à l'ouest, il a persisté et s'est considérablement développé à l'est. L'étude que nous venons de mener montre que ce foyer de choléra présente des caractéristiques originales qui le distinguent des foyers de choléra habituellement décrits en zone côtière.

Les lacs constituent le principal facteur de risque du choléra à l'est de la RDC (61% des cas rapportés). C'est autour de ces zones lacustres, qualifiées aussi de zones sanctuaires, que se rétractent les cas résiduels de choléra en période inter-épidémique. Ces zones sanctuaires représentent moins de 10% (11 zones de santé sur 139) de l'ensemble de la région étudiée.

Il y a une tendance saisonnière avec un seul pic dans les deux Kivu et une saisonnalité à deux pics au Katanga. Cependant, il a été montré que les composantes saisonnières et inter-annuelles ne constituent qu'une faible part de la variabilité totale. L'essentiel des flambées épidémiques tient donc à d'autres causes telles que les mouvements de population lors des conflits, les activités de certains groupes professionnels tels que les pêcheurs et les commerçants ou les conséquences des pluies sur l'environnement. Il n'a pas été clairement mis en évidence le rôle de la variation saisonnière de la concentration de plancton sur la dynamique temporelle des cas de choléra.

Il a été mis en évidence un fonctionnement sur un mode métastable des différents foyers lacustres hiérarchisés en échelles emboîtées. Plusieurs discontinuités locales des cas reconstituent à une échelle plus globale une impression de continuité des cas. En fonction du temps, le fonctionnement du choléra dans certaines zones est passé d'un stade épidémique à un stade endémique en passant par une étape de fonctionnement en foyer métastable.

Nos résultats ont aussi montré la réversibilité de ces différentiels état évolutifs de l'épidémiologie du choléra. C'est sur la base de l'identification de ces zones sanctuaires et de la réversibilité des processus évolutifs du choléra que le Ministère de la Santé Publique de la RDC a accepté un plan intégré de lutte contre le choléra avec pour objectif de parvenir à l'élimination de cette maladie.

En dépit de quelques limites inhérentes à la collecte de données épidémiologiques, ce qui n'est pas spécifique à la RDC, et plus encore en période de guerre, **ce travail est le premier à fournir des données spatialisées hebdomadaires sur une période de huit ans pour une population d'environ vingt millions de personnes vivant dans une région africaine sévèrement touchée par le choléra**, aussi vaste que la moitié de l'Union Européenne. Même si le nombre de cas rapportés dans cette étude est impressionnant, il est certainement sous-estimé et ce, pour plusieurs raisons.

Les dysfonctionnements inhérents au temps de maturation du système de surveillance épidémiologique récemment organisé et mis en place, sont tels que de nombreux cas ont pu ne pas être collectés, entraînant une sous-estimation de l'incidence réelle de la maladie. L'insécurité prévalant dans certaines régions d'étude durant la période de notre travail limitait fortement l'accès aux soins. C'est ainsi que quelques zones de santé de la région du lac Moero (Kilwa, Kasenga et Pweto) ont dû être retirées de certaines analyses à causes de plusieurs années avec des données manquantes durant la période d'étude. Inversement, seul un faible nombre de cas suspects diagnostiqués cliniquement sur la base de la définition des cas de l'OMS (9) a pu être confirmé par la culture. De plus, les procédures de prélèvement étaient parfois inadaptées : certains prélèvements avaient été collectés chez des patients déjà sous antibiotiques, d'autres avaient été effectués dans des seaux contenant des solutions chlorées, ou étaient acheminées à Kinshasa dans des délais excessifs, dépassant parfois 14 jours.

Pour toutes ces raisons, il est possible qu'il y ait eu également une sous-estimation du nombre de résultats positifs ou que des patients souffrant d'une autre maladie diarrhéique aient été inclus dans l'étude en étant à tort considéré comme des cas de choléra. Les données de base de nos études ne doivent donc pas être considérées comme le reflet exact des cas de choléra, mais comme une image approximative de ce qui s'est passé, permettant de repérer les événements majeurs et les tendances lourdes, mais pas d'entrer dans le détail des cas en un lieu donné et à un moment donné.

Les données sur le plancton ont été obtenues indirectement à partir de données sur la chlorophylle a obtenues par capture satellitaire. Etant donné la mauvaise visibilité de cette région par satellite, souvent perturbée par des bandes de nuages, il n'est pas exclu que ces données soit sous estimées. Ainsi, les données planctoniques de Uvira présentaient beaucoup de « trous » dus aux nuages (des jours avec un ciel couvert) avec 70 semaines renseignées sur les 235 de la série, alors que Kalemie en comptait 146. Par ailleurs, le nombre trop important de données manquantes sur d'autres sites lacustres du Tanganyika comme Moba (au sud du Tanganyika) ne nous a pas permis d'étudier cet effet du plancton sur la dynamique du choléra dans ce site qui avait pourtant une bonne série de données sur le plancton (156 semaines notifiées sur 235).

Pour éviter le risque d'obtenir une corrélation faussement significative entre les données sur le choléra et celles de plancton, il a été décidé de travailler sur les résidus de données sur le plancton. En effet, corréler directement une série brute « *plancton* » au nombre de cas de choléras aurait fait prendre le risque, en cas de corrélation significative, d'attribuer une causalité au plancton. Ceci serait discutable car on ne pourrait pas exclure de mesurer simplement des coïncidences dues à la saisonnalité de deux variables qui pourraient n'avoir aucun lien entre elles. Dans cette dernière hypothèse, choléra et plancton seraient tous deux gouvernés par des facteurs saisonniers, sans qu'il y ait de liens de cause à effet.

Les données sur la pluviométrie ont été obtenues de façon indirecte à partir des mesures de satellite. Cette approche indirecte et la délimitation approximative des zones géographiques sur une approche de repérage cartographique pourraient biaiser les valeurs réelles des données sur la pluviométrie dans les espaces étudiés, et être à l'origine des résultats mitigés obtenus. Toute fois, reconnaissant la difficulté de se procurer ces données dans un tel environnement (pays pauvre, zone en proie à l'insécurité depuis un peu plus

d'une dizaine d'années, absence de structure finançant la recherche dans le pays), notre travail a le mérite d'avoir été réalisé grâce à de nombreuses collaborations toutes basées sur le volontariat pour la recherche.

Malgré ces limites identifiées à propos des données collectées, l'approche méthodologique utilisée a été validée a posteriori par la cohérence du faciès épidémiologique du choléra mis en évidence dans notre étude. La cohérence et la pertinence de nos résultats sont de plus renforcés par le fait que les acteurs de terrain se soient appropriés si rapidement les résultats, ainsi que par l'évolution très positive de la situation du choléra constatée sur le terrain dès la mise en oeuvre des premières actions inspirées de nos recommandations. Ces résultats mettent en évidence certains aspects importants de l'épidémiologie du choléra qui nécessitent une plus longue analyse.

Premièrement, **nos résultats montrent que d'une part, dans sa configuration actuelle, le choléra est un phénomène relativement récent dans la région des Grands Lacs.** Les premiers cas ayant été rapportés dans la région des Grands Lacs au début des années 1971. D'autre part, **nos résultats montrent aussi que cette région est maintenant l'une des plus touchées à l'échelle de l'Afrique** (un cas sur trois entre 1971 et 2007) et même du monde (un cas sur dix sur la même période). L'histoire de l'introduction du choléra en République Démocratique du Congo reflète parfaitement la dimension continentale du problème. En effet, le choléra est entré en RDC en deux temps : en 1973, par la partie ouest à partir de cas venus d'Angola, tandis que l'Est n'a été touché qu'à partir de septembre 1977 à partir de cas venus de Tanzanie.

Ce décalage de temps en RDC rappelle bien ce qui a été rapporté par Swerdlow et Isaäcson d'après qui, à l'échelle de l'Afrique, il n'y a pas eu une seule porte d'entrée, comme cela est souvent repris dans plusieurs documents sur le choléra en Afrique (4). Au Kenya, en Afrique de l'Est, des cas de choléra étaient déjà rapportés dès 1971. C'est du Kenya que sont arrivés les premiers cas rapportés en Tanzanie (108).

L'environnement spécifique de cette région, située entre l'océan Pacifique et plusieurs lacs aux dimensions « océaniques », sa forte densité de population (certaines régions atteignent des densités de 80 à 100 habitants par km²), l'influence déjà démontrée par d'autres auteurs de l'impact du climat et des changements globaux sur les maladies à potentiel épidémique, dont le choléra dans cette région (19, 43,44, 115), ainsi que l'environnement socio-économique et sécuritaire de cette région durant ces 15 dernières années (13, 118) pourraient expliquer la situation du choléra dans l'est de la RDC.

C'est ainsi que d'autres études conduites sur des espaces géographiques plus réduits ont également suspecté un éventuel lien entre la présence de lacs et les épidémies de choléra (20, 21), mais sans aller plus loin dans les explications pouvant permettre de comprendre l'épidémiologie du choléra dans cette région. **A une échelle plus large, nos résultats ont montré que plusieurs des grandes flambées épidémiques correspondaient aux années El Niño.** Epstein (119) note que des périodes chaudes liées au phénomène El Niño sont corrélées à des épidémies de choléra au Bangladesh, et aussi à l'émergence de nouveaux types d'algues nuisibles dans toute l'Asie.

Dans une étude conduite au Bangladesh sur une série temporelle de 18 ans, Rodo et al rapportent que ce phénomène climatique n'expliquait que 70% de la variance de la maladie (120). Ainsi, **le fait que notre étude mette en évidence des flambées**

épidémiques en dehors des années El Niño, montre bien que l'épidémiologie du choléra est multifactorielle et que ces facteurs agissent à différentes échelles. A l'instar des derniers travaux menés en Asie, quelques études ont confirmé en Afrique l'impact des phénomènes comme les changements globaux et le réchauffement climatique sur la dynamique du choléra (17, 18).

Cependant, **rares sont les recherches qui sont conduites sur une approche multi-échelle, permettant de comprendre à la fois les phénomènes globaux et les phénomènes régionaux voire locaux**, qui quelquefois échappent complètement à des logiques globales. C'est ce qui a guidé notre approche méthodologique et nous a conduits à étudier le choléra sur plusieurs échelles emboîtées. D'abord à l'échelle de la RDC (pays grand comme toute l'Europe Occidentale), puis à l'échelle des quatre provinces les plus touchées de l'Est (Katanga, Kasai Oriental, Nord-Kivu et Sud-Kivu), à l'échelle des quelques regroupements de zones de santé lacustres, zones les plus touchées, puis à celle d'une de ces zones particulières : celle de Kalemie. Les quatre provinces où l'étude a été conduite représentent 30% de la superficie totale (721 099 Km²) et 43% de la population totale (25 649 209 habitants) de la RDC.

A l'échelle du pays, nos résultats ont mis en évidence un gradient Est –Ouest du choléra. L'est de la RDC étant plus touché que l'ouest. Cette répartition spatiale pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs dont le premier est représenté par la grande différence des densités moyennes de population. Ces densités de population sont plus fortes à l'Est (moyenne autour de 40 habitants au km²) qu'à l'Ouest (moyenne autour de 10 habitants au km²). La deuxième explication possible, est l'environnement géographique et écologique bien distinct de ces deux parties du pays. L'Ouest est une région en grande partie couverte de forêt équatoriale, très dense et hostile, où les flux de populations déjà difficiles sont encore entravés par l'enclavement dû à la détérioration plus rapide des routes à cause d'abondantes pluies et de l'existence de nombreux cours d'eau que l'on ne peut franchir que par quelques ponts en mauvais état ou par des bacs rudimentaires.

Le seul axe facilement praticable est celui qui relie le Bas Congo à Kinshasa par le chemin de fer et la route. Dans la partie nord-ouest, le fleuve représente le principal axe de circulation des populations. C'est essentiellement par ces réseaux que les épidémies rapportées à l'ouest entre 1996 et 2001 se sont propagées. A l'est, le paysage est essentiellement constitué de savane et de forêt galerie, dans une région plus en altitude. Le réseau routier et ferroviaire y est plus dense qu'à l'ouest, les routes y ont mieux résisté à l'usure et ce réseau est plus sollicité par une population très active. On observe donc d'importants flux de population entre les différentes localités de l'est de la RDC.

De plus, depuis l'année 1994, et ce de façon continue jusqu'à maintenant, aux flux structurels de populations (pour le commerce, les voyages, ...), se sont ajoutés des flux conjoncturels, causés par les conflits socio-politiques et militaires. Enfin, les régions de l'est sont caractérisées par la présence de grands lacs qui diffèrent des quelques lacs situés dans la partie ouest. Les lacs de l'est sont pour la plupart d'origine tectoniques ; ils sont généralement très profonds et riches en plancton, alcalins, avec une forte conductivité. Les lacs de l'ouest en revanche sont plus petits, peu profonds, souvent avec une eau acide. De plus, les densités de populations, l'activité et le flux de population autour des lacs de l'ouest sont moins importants que ceux autour des lacs de l'est. **Ces données d'écologie**

lacustre et d'occupation de l'espace, confrontées aux données de la littérature (10, 11, 13, 48-51), montrent que la partie est de la RDC est bien plus à risque de choléra que la partie ouest.

Au niveau provincial, les résultats des études conduites à l'est de la RDC, tant sur la région (bloc de deux provinces) Katanga/Kasaï Oriental, que dans la région des deux Kivu (Nord et Sud), montrent le rôle des lacs dans l'épidémiologie du choléra. Dans la région Katanga/Kasaï Oriental, l'étude montrait que 60% des cas de choléra rapportés entre 2002 et 2005 étaient survenus dans quelques zones de santé situées au bord des lacs. Dans ces deux provinces, le nombre de cas de choléra était significativement plus élevé en bordure de lac (OR : 7,5 ; 95% CI : 3,9-14,2). Cette même tendance est observée dans les provinces du Kivu. Parallèlement au rôle joué par Kalemie et Bukama au Katanga, les villes de Goma, Bukavu et Uvira paraissent constituer la source des épidémies de choléra dans les provinces du Kivu. **Sur le plan opérationnel, ces résultats imposent de porter une plus grande attention à ces villes, surtout au tout début d'une épidémie, lorsque le nombre des cas est encore faible, mais commence à croître.**

L'analyse des périodes d'accalmie épidémique a fait ressortir à nouveau le rôle si particulier de ces zones lacustres. Entre 2000 à 2007, en considérant les quatre provinces étudiées, sur 150 472 cas de choléra rapportés, 61 % (92 399/150 472) ont été signalés dans des zones de santé situées dans des régions lacustres du Katanga et des deux Kivu. Trois grandes périodes d'accalmie épidémique ont été analysées sur la période 2002-2007 ; il en ressort que, sur un total de 139 zones de santé, 11 seulement jouent un rôle que l'on pourrait qualifier de sanctuaire du choléra. Il s'agit des zones de Kalemie, Bukama, Kinkondja et Kabondo-Dianda (au Katanga), Goma, Kirotshé et Mutwanga (au Nord-Kivu), Uvira, Katana, Bukavu et Kyondo (au Sud-Kivu). **Tous les redémarrages épidémiques observés sont partis de ces zones lacustres, sous l'hypothèse qu'il n'y ait pas eu de diffusion de cas à partir de foyers extérieurs à la RDC. Un suivi des souches responsables d'épidémies par biologie moléculaire pourrait permettre de tester ultérieurement cette hypothèse.**

Toutefois, sur le plan opérationnel, cette observation pose déjà le problème de la surveillance transfrontalière. En effet, sur le plan épidémiologique, les frontières du choléra ne sont pas les frontières politiques, il est par conséquent important de ne pas perdre de vue ce qui se passe en terme de choléra sur les rives zambiennes, tanzaniennes et burundaises du Tanganyika, sur les rives burundaises et rwandaises du lac Kivu, ainsi que sur les rives ougandaises des lacs Albert et Edward.

Le rôle des lacs et celui des zones sanctuaires sur la persistance du choléra, rapprochent les aspects épidémiologiques du choléra à l'est de la RDC de ceux décrits dans les zones d'estuaires des côtes asiatiques (10, 11, 39, 40, 42, 121-123).

Avant nos travaux, deux études conduites dans la région des Grands Lacs africains avaient souligné le lien entre les épidémies de choléra et le fait d'habiter sur les bords d'un lac ou d'une rivière, et pour la population, de boire l'eau dans laquelle elle se baigne et lave ses affaires. Une de ces études a eu lieu à Rumonge, au Burundi, au bord du lac Tanganyika, le lac au bord duquel se trouve Uvira (20). L'autre concernait une zone à proximité du lac Victoria au Kenya (103) et évoquait la possible existence d'un réservoir environnemental au moins provisoire et le rôle possible des jacinthes d'eau dans la

persistance dans l'environnement de souches de vibrions toxigéniques en période inter-épidémique (13).

Toutefois, les biotopes lacustres diffèrent de l'eau saumâtre des estuaires qui représentent le réservoir naturel habituel de *V. cholerae* (20, 123). Même si l'eau des lacs est parfois riche en plancton, aucune étude n'a jusqu'à présent démontré la persistance à long terme de *Vibrio cholerae* dans les lacs de la zone d'endémie du choléra en Afrique (21). En effet, la détermination systématique des espaces sanctuaires du choléra pourrait être une approche essentielle à la mise en place de programmes efficaces de lutte contre le choléra (124). La même tendance à la disparition progressive a été observée à Rumonge au Burundi (20), même si, sur cette dernière étude, le nombre relativement faible d'échantillons et la courte durée du suivi environnemental, incitent à la prudence quant à l'interprétation de ces résultats.

Les données de la littérature montrent combien il est difficile pour les souches de *V. cholerae* O1 toxigéniques de persister longtemps dans de l'eau douce. En revanche, des souches environnementales endémiques de *V. cholerae* non toxigéniques ont parfois été isolées dans l'eau douce. Ainsi, Kirschner et al. ont récemment démontré l'existence pérenne de souches de *V. cholerae* non toxigénique, qui peut rapidement évoluer vers un stade de vie libre, dans un lac naturel en Autriche (125).

Nos résultats montrent qu'il est nécessaire d'effectuer des études plus poussées sur le rôle de l'environnement lacustre dans la persistance du choléra dans les régions continentales en Afrique. Ces études nécessiteront des financements substantiels, et des collaborations spécifiques car les moyens, les méthodes et les technologies à mettre en oeuvre nécessitent une logistique et une technologie qu'on ne trouve pas actuellement dans les régions touchées par la maladie. **L'essentiel des études à la base de ce qui est connu sur l'écologie et les modes de persistance du choléra dans l'environnement ont été réalisées en Asie, dans les zones estuariennes du Bangladesh.** Là, plusieurs études ont été conduites pour comprendre l'écologie du *V. cholerae* et ses modes de persistance (5, 6, 39-43, 106, 107, 121-123), les équipes de l'International Centre for Diarrhoeal Disease Research (ICDDR) de Dhaka bénéficient depuis plusieurs années d'appuis financiers et techniques conséquents dont celles de plusieurs Universités et centres de recherche américains et britanniques.

La plupart des grandes avancées sur l'épidémiologie du choléra dans cette région ont été réalisées grâce à des projets de collaboration internationale impliquant à tous les niveaux des équipes locales du centre de recherche installé à Dhaka. Il n'y a que des collaborations de ce type, avec des transferts de compétences, qui permettront d'élucider toutes les hypothèses soulevées par notre travail. Car s'il faut travailler dans la durée, ça ne pourra se faire qu'en impliquant des équipes locales, et en les aidant à acquérir les compétences requises pour s'attaquer à ces types de recherche.

Outre les zones lacustres, sanctuaires du choléra, il existe un deuxième espace géographique particulier dans l'expression des épidémies de choléra. Ce deuxième espace est constitué par les zones urbaines. Les zones lacustres, où se pratique la pêche sont reliées aux zones urbaines par plusieurs moyens de communication dont les plus utilisés sont le bateau, le train et les grands véhicules de transport en commun. Ces zones urbaines se caractérisent d'abord par leur forte densité de population qui se situe autour de

80 à 200 habitants au km². Avec la crise économique, dès la fin des années 1980, les villes ont connu une véritable explosion démographique du fait de l'exode rural.

Cet exode a été renforcé et accéléré ces dix dernières années à cause de l'insécurité plus grande en zone rurale qu'en zone urbaine. En même temps que ces villes connaissaient une explosion démographique, elles voyaient baisser leur capacité à répondre aux besoins de base des populations. A titre d'exemple, on note que la plupart des réseaux d'adduction en eau potable ont été construits il y a très longtemps, à l'époque coloniale (126). Ces réseaux avaient été dimensionnés pour des villes de taille relativement modeste et ne sont pas adaptés à leur taille actuelle (73).

Du fait de la crise économique, d'une absence de plan d'extension (avec le budget qui suit), d'un manque de programmation des entretiens, d'une longue période d'isolement international du pays et des années de guerre, ces réseaux de distribution d'eau potable sont actuellement vétustes et sous dimensionnés par rapport au nombre d'habitants actuel des villes de l'Est. Plusieurs nouveaux quartiers, souvent mal urbanisés, occupés par les nouveaux arrivants, n'ont même pas de réseau de distribution d'eau installé. Les populations sont obligées d'effectuer de grandes distances pour chercher de l'eau potable ou alors d'utiliser l'eau des rivières, puits ou sources souvent non aménagés et non protégés. Là où ils existent, ces réseaux sont souvent menacés et les canalisations sont emportées par les glissements de terrain liés à l'érosion ou simplement en proie à des actes de vandalisme (les tuyauteries en cuivre ou en plomb installées avant les années 1960 dans plusieurs villes sont très prisées par les chercheurs de métaux qui les revendent sur le marché).

Quand les réseaux sont présents, ce sont les irrégularités de production d'électricité et d'autres causes de pannes des usines d'eau qui empêchent la fourniture d'eau potable aux populations des grandes villes. Il est de plus en plus courant que l'eau soit distribuée par alternance avec un système dit de délestage. Pendant les périodes de plus en plus longues d'absence d'eau, les populations recourent à tous les moyens possibles pour s'approvisionner en eau de consommation, le critère de potabilité étant relégué au second plan.

Dans ces villes, les marchés, qui font souvent aussi office de gares routières pour les grands véhicules en provenance des zones lacustres ou d'autres zones rurales agricoles, sont des lieux très vulnérables et de véritables points de brassage. D'autres lieux publics constituent des zones de vulnérabilité, tels que les ports (quand la ville est située au bord d'un fleuve comme Kisangani en Province Orientale) et les gares ferroviaires, comme à Lubumbashi. Il n'est pas rare que dans ces gares routières, ports ou gares ferroviaires débarquent des personnes malades (de choléra ou d'autres pathologies), en provenance des zones lacustres comme Bukama ou Kasenga (les deux situés au Katanga).

Dans les villes de l'est de la RDC, les quartiers situés le long des égouts sont particulièrement vulnérables quand ils ne sont pas simplement plus touchés que d'autres lors d'épidémies de choléra. Tous ces facteurs expliquent la nature explosive des épidémies de choléra en ville, comme ce fut le cas lors des épidémies de choléra à Mbuji Mayi en octobre 2002, à Lubumbashi en septembre 2002 et à nouveau à Lubumbashi, en octobre 2007. Ces situations d'épidémies explosives focalisent l'attention des politiques (il n'est pas rare de voir des responsables politiques démis de leur fonction à l'occasion

d'une épidémie de choléra en milieu urbain), des médias, des agences de financement, des opérations d'urgence et des opérateurs de terrain.

Certaines décisions opérationnelles des ONG d'urgence traduisent bien cet interventionnisme en zone urbaine. Deux exemples pour l'illustrer. Le premier, en novembre 2007, après la flambée de cas de choléra à Lubumbashi et à Likasi, l'ONG Médecins Sans Frontières France a dû envoyer précipitamment de Paris une équipe d'intervention à Likasi, l'une des grandes villes minières du sud du Katanga. Pourtant, quelques mois plus tôt, la même ONG fermait sa mission au centre du Katanga, dans une région sanctuaire située autour du lac Upemba, au nord de Bukama. Le deuxième, en octobre 2007 au Katanga, quelques semaines avant la notification des premiers cas de choléra à Lubumbashi, MSF Belgique retirait ses équipes de la zone de Kasenga, autour du lac Moero, une autre zone sanctuaire.

Dans les deux cas, les investigations conduites pour comprendre l'origine de ces épidémies avaient montré que les cas index de Lubumbashi, puis de Likasi venaient des zones lacustres de Bukama et de Kasenga, où des cas de choléra étaient rapportés depuis fin août et septembre 2007. Nous avions prédit cette diffusion et prévenu les équipes de terrain (nationales et internationales) dès le mois de septembre à travers un message e-mail, mais n'avions pas pu nous faire entendre. Ce n'est qu'une fois les flambées de choléra déclarées à Lubumbashi et à Likasi, alors que l'on commençait à compter les morts et que la presse s'en était mêlée, que les ONG et les agences de financement des actions d'urgence se sont enfin réveillées.

Ce scénario de démarrage non pris en compte en zone lacustre puis de propagation à travers la route ou le train et d'explosion en ville à partir des cas index provenant des zones lacustres avait déjà été celui des grandes épidémies de choléra à Mbuji Mayi en septembre 2002 (les cas index étant venus de Bukama). Même à l'ouest de la RDC, plusieurs flambées épidémiques qui sont survenues à Kinshasa de 1997 à 2000 avaient eu pour origine des régions éloignées situées le long du fleuve (entre Mbandaka et Lukolela dans la province de l'Équateur), où s'étaient amassés plusieurs milliers de personnes déplacés. Ainsi, on retrouve toujours le même scénario avec des épidémies démarrant « tranquillement » à partir de cas résiduels de choléra dans les zones lacustres, suivi d'une propagation favorisée par des mouvements structurels ou conjoncturels de populations et se soldant par des explosions épidémiques dans les grandes villes situées parfois à plusieurs centaines de kilomètres des zones lacustres de départ.

Deux autres raisons expliquent la situation de vulnérabilité particulière au choléra des zones, urbaines ou non, éloignées des zones lacustres. Il s'agit de la double méconnaissance de la maladie tant au niveau des populations que des acteurs du système de santé. Cette méconnaissance dans certains cas pourrait simplement être comparable à une forme « *d'amnésie post-épidémique* » (car les flambées sont séparées par de longues périodes sans cas), où les mesures de prévention sont abandonnées au même moment ou quelques temps après l'arrêt des mesures de sensibilisation mises en place au moment de la riposte aux flambées épidémiques. La méconnaissance de la maladie par la population est responsable d'une absence ou d'une perte d'une forme d'immunité de groupe ou d' « *immunité sociale* », comme cela a déjà été décrit dans le cas d'autres situations morbides (127).

Dans ce cas de figure, la maladie est ignorée, le circuit du patient commence par le tradithérapeute, le féticheur local, le « petit dispensaire du coin » ou l'automédication aux antibiotiques. Les croyances à la sorcellerie s'amplifient avec pour conséquence des comportements inadaptés qui favorisent le démarrage et la diffusion des épidémies. Les patients sont alors très peu réceptifs voire carrément imperméables aux messages de sensibilisation.

La méconnaissance de la maladie par les acteurs de santé est quant à elle illustrée par un manque ou une perte d'expérience dans le diagnostic de la maladie (retard de diagnostic, mauvaise pratique de prévention par ignorance de la maladie, ...) et dans la prise en charge des cas. Ceci explique (en partie) les fortes létalités souvent observées dans les premières semaines des épidémies dans les zones où le choléra est ignoré ou perdu de vue par le personnel. Cette situation a été identifiée comme l'une des causes de la très grande létalité observée lors des épidémies de Goma en 1994 (128).

La situation de vulnérabilité des grandes villes africaines face au choléra comme face à d'autres maladies d'origine hydrique telle que décrite par notre travail a été également décrite dans d'autres travaux (129-131). La situation de l'épidémie de choléra toujours en cours au Zimbabwe où 91 164 cas et 4 037 décès avaient déjà été rapportés au 17/03/2007, avec plus de 75 % de cas rapportés uniquement dans des cités urbaines dont la ville de Harare (132, 133), pourrait ne pas être très différente de ce qui a été décrit par le passé dans les villes comme Lubumbashi, Mbuji Mayi ou Kinshasa. En effet, cette épidémie est devenue très médiatique lorsqu'on a commencé à rapporter des centaines de cas et plusieurs décès à Harare. Pourtant, cela faisait plusieurs mois que selon différents rapports concordants, elle avait débuté, dans l'indifférence totale, à l'ombre des caméras et des micros, dans des zones éloignées de Harare (134).

Les épidémies de choléra observées au Sud Soudan en 2006, puis dans les camps de réfugiés du Darfour en 2006 et 2007 (129), auraient eu pour point de départ, d'après les investigations conduites sur le terrain, des zones lacustres situées au nord de l'Ouganda. D'autres situations épidémiques dans des grands centres urbains pourraient être expliquées par le même scénario. On pourrait pour cela citer les épidémies observées dans certaines villes du nord du Cameroun, qui proviendraient des zones lacustres du lac Tchad (136).

Comme nous avons pu le constater à Kinshasa, à Mbuji Mayi et à plusieurs reprises à Lubumbashi, lorsque des actions efficaces sont conduites de façon intelligente et coordonnée, les épidémies arrivent à s'éteindre complètement dans les zones urbaines malgré leur aspect explosif dans les premières semaines. Dans ces villes, il y a toujours un retour à la situation de « zéro cas ». Ce résultat devrait redonner espoir aux équipes de terrain en difficulté avec la prise en charge des épidémies de choléra qui perdurent depuis des mois dans de grandes agglomérations comme c'est le cas à Harare ou dans celles où, chaque année, les équipes de terrain redoutent des flambées épidémiques de choléra.

Ainsi, les résultats de nos travaux suggèrent fortement que, sans les zones sanctuaires, on pourrait arriver à l'élimination du choléra dans des régions très vastes. C'est d'ailleurs le cas actuellement dans toute la partie ouest de la RDC. La récurrence des épidémies de choléra dans la région des Grands Lacs étant sous-tendue par le fonctionnement du choléra dans quelques zones lacustres, c'est là qu'il faudrait porter l'effort de lutte maximum.

Dans cette optique, l'étude du fonctionnement du choléra en zone lacustre a permis de dégager des connaissances utiles pour la compréhension de l'épidémiologie du choléra. La saisonnalité du choléra observée dans les zones lacustres présente des différences très marquée selon que la zone est située près de l'équateur (Nord-Kivu), un peu éloignée (Sud-Kivu) ou vraiment éloignée de l'équateur (Katanga). Globalement l'étude des variations saisonnières a permis de mettre en évidence une augmentation des cas de choléra en saison des pluies dans les régions où l'alternance entre saison des pluies et saisons sèches est très marquée. Cet effet est marqué autour de Bukavu et d'Uvira avec un seul pic annuel et autour de Kalemie et des zones du lac Upemba avec deux pics annuels observés.

Contrairement à la région des Grands Lacs, où l'on retrouve des profils de saisonnalité différents selon les zones géographiques, au Bangladesh, les études sur la saisonnalité des épidémies de choléra ont permis de mettre en évidence l'existence de deux pics annuels distincts de choléra, l'un intervenant avant et l'autre après la saison des moussons. Cette saisonnalité à double pic est retrouvée dans toutes les régions du Bangladesh (137). Pour expliquer cette saisonnalité au Bangladesh, Islam et Al (109) ont montré que, en été comme en hiver, la température et le temps d'ensoleillement se compensent réciproquement pour maintenir une incidence élevée du choléra. Cette synergie d'action expliquerait aussi le nombre élevé des cas de choléra.

Dans les zones lacustres de l'est de la RDC, plusieurs hypothèses ont été évoquées dans notre travail pour expliquer non seulement la saisonnalité, mais surtout la différence de profil des saisonnalités observées. Quelle que soit la région, (région nord mono-pic ou région sud à double pic), la tendance saisonnière générale s'est révélée insuffisante pour expliquer le profil annuel des cas de choléra. La forte auto-corrélation retrouvée même dans les résidus traduit l'existence d'autres facteurs explicatifs sous-jacents et donc à rechercher.

La corrélation entre la pluviométrie et l'incidence du choléra n'a été retrouvée de façon formelle que dans deux régions sur les cinq étudiées, la région du lac Upemba et celle d'Uvira. Malgré ce résultat pas très évocateur d'un rôle formel de la pluie sur le choléra, la tendance générale montrait tout de même que là où les saisons sont très marquées, il y avait plus de cas de choléra en saison des pluies qu'en saison sèche. Le lien, pourtant évident, entre la pluie et le choléra est difficile à mettre en évidence. En effet, d'une année à l'autre les variations de pluviométrie sont assez peu marquées et rendent difficiles toute recherche de corrélations basées sur les résidus. De plus, au Katanga, les mouvements de pêcheurs créent un pic en fin de saison sèche, ce qui rendra plus difficile la recherche d'une corrélation entre excès de pluie et choléra.

Cette influence de la pluie sur l'incidence du choléra a déjà été évoquée dans d'autres études sur le choléra en Afrique (138). Cependant, il est important de noter que cet effet de la pluie ne serait qu'un effet indirect. Dans plusieurs cités et villages lacustres, les pluies par le ruissellement, entraîneraient vers les points d'eau mal protégés ou vers les eaux de surfaces de lacs et de rivières, des excréta et toutes autres ordures polluant ainsi les eaux utilisées par la population pour la consommation. Mais cette situation, qui est certainement identique dans la partie est de la RDC, ne devrait pas faire perdre de vue le fait que dans d'autres régions d'Afrique, en particulier au Sahel, les saisons de pluie en permettant aux populations de recueillir et de consommer de l'eau de pluie, sont souvent

suivies d'une baisse des cas de choléra. **En ce qui concerne l'ensemble de l'est de la RDC, une association des deux explications n'est pas à exclure.**

Le double pic observé dans les régions de Kalemie et de Bukama s'expliquerait par une association d'un facteur humain aux effets globaux de saisonnalité. En effet, d'après nos résultats, les pêcheurs et les commerçants sont impliqués dans la propagation des épidémies de choléra depuis les zones lacustres vers les zones urbaines. Le premier pic de choléra de Kalemie et Bukama, qui survient en fin de saison sèche (deuxième moitié de septembre) est contemporain de la période où s'accélère le départ des pêcheurs et surtout des commerçants des zones rurales lacustres, vers les cités urbaines (Bukama, Kalemie) et les grandes villes (Lubumbashi, Mbuji Mayi).

Sans que cela ait fait l'objet de descriptions précises, le rôle des pêcheurs et des mouvements périodiques de populations comme c'est le cas au Sénégal avec le grand Magal a été déjà évoqué pour expliquer des flambées épidémiques de choléra (139) ou des diffusions d'épidémies de choléra. Notons qu'en ce qui concerne les pêcheurs, il a souvent été évoqué l'hypothèse d'une contamination par l'intermédiaire du poisson. Cependant, les enquêtes que nous avons réalisées sur le terrain montrent qu'à l'est de la RDC, les poissons sont transportés après avoir été séchés au soleil avec ou sans sel, ou fumés quand il est possible d'avoir du bois ou du charbon de bois. Il est donc peu probable qu'ils puissent héberger des vibrions capables de déclencher des cas de choléra. De plus, les habitudes culinaires et alimentaires des populations dans ces régions congolaises, sont telles que la consommation des aliments crus ou mal cuits, surtout provenant des milieux aquatiques, est exceptionnelle voire inexistante.

Le mode de contamination des populations exposées par des produits frais d'origine lacustre n'est pas rapporté en RDC comme c'est le cas dans d'autres régions (139). Ainsi, ces populations de pêcheurs et de commerçants, se contaminent essentiellement par l'ingestion d'aliments consommés crus ou d'eau souillée par du *V. cholerae*. Au vu des conditions de promiscuité dans lesquelles ces populations vivent et voyagent, il n'est pas exclu qu'il y ait des cas de contamination interhumaine, comme cela a été décrit dans d'autres circonstances et dans d'autres régions (140).

Si les pêcheurs et les commerçants constituent en zone lacustre des populations à risque, dans les zones autour des mines, il est important de considérer une autre catégorie professionnelle : ce sont les mineurs artisanaux. En effet, **nos résultats ont mis en évidence le rôle des mineurs artisanaux dans le déclenchement et la diffusion des épidémies de choléra dans certaines zones minières de l'est de la RDC**. Les exemples les plus illustratifs sont représentés par les épidémies de choléra dans les zones périphériques de Mbuji Mayi autour des mines de diamant en 2002-2003 et la grande flambée épidémique de Kisengo au nord-est du Katanga en 2007, dans les mines de coltan (colombite-tantalite).

En décrivant ce rôle spécifique des pêcheurs, des commerçants et des mineurs artisanaux dans le déclenchement et la propagation des épidémies de choléra, nous avons mis en évidence un autre aspect de l'épidémiologie du choléra, où le choléra peut être assimilé à une maladie professionnelle. Aussi, dans les stratégies opérationnelles, la prise en compte du caractère spécifique des populations de pêcheurs, de commerçants, et de mineurs artisanaux pourrait orienter la mise en oeuvre d'actions spécifiques comme des campagnes ponctuelles de vaccination ciblée, des programmes

d'assistance spécifiques aux pêcheurs, aux mineurs artisanaux, des programmes d'encadrement des transporteurs, des programmes de surveillance et d'assainissement des campements durant les trois mois d'intenses activités de pêche dans les lacs du centre du Katanga (juillet, août, septembre). Par le passé, en 2002, dans la zone de Malemba Nkulu, dans la région des lacs centraux du Katanga, MSF France et ACF USA, en réponse à une épidémie de choléra qui se prolongeait, avaient mis en place une stratégie de lutte basée sur la prise en compte de ces facteurs de populations et d'espaces spécifiques.

Cette approche de lutte recommandée suite à une mission d'investigation conduite par Epicentre, avait été accompagnée d'une surveillance épidémiologique renforcée et d'une prise en charge des patients dans le CTC de Malemba. La difficulté de la mise en place de ces programmes réside dans la nécessité de les faire précéder par un diagnostic épidémiologique précis, ainsi que par les difficultés inhérentes à l'obtention de financements lorsqu'on adopte des approches innovantes. Cette absence de financement, s'explique elle-même par la difficulté pour les acteurs de terrain de percevoir la spécificité de ces populations et de ces espaces géographiques. Elle s'explique aussi par le fait que les financements qui sont essentiellement destinés à des réponses aux urgences, ne prennent pas en compte ces types d'interventions qui nécessitent d'agir dans la durée.

La vaccination pourrait par exemple être proposée dans les campements lacustres où les pêcheurs séjournent de juin à novembre avec un pic entre juillet et septembre. Pour être pleinement efficace, elle devrait se faire de façon répétitive une fois par an, avant et pendant la période de pêche. Il resterait cependant à surmonter les difficultés logistiques et celles liées au coût de ces interventions répétitives. En termes d'organisation logistique, le dernier vaccin récemment testé au Vietnam (141), pourrait offrir une perspective intéressante d'utilisation à condition qu'il obtienne l'homologation de l'OMS, ce qui n'est pas encore acquis.

Poursuivant notre recherche des facteurs influençant la dynamique du choléra à l'est de la RDC, nous nous sommes interrogés sur le rôle de ce qui est appelé dans la terminologie Onusienne « Urgences Complexes » avec en corollaire, la prise en charge des populations déplacées. Depuis plus de dix ans, cette problématique fait partie intégrante de l'environnement social de l'est du Congo. Depuis le début des conflits à l'est de la RDC, certains rapports dénombrent entre 1 000 000 et 2 000 000 de personnes déplacées à l'intérieur de la RDC (142) et jusqu'à 5 millions de morts essentiellement des civils par une cause directement ou indirectement liée aux conflits en RDC (117).

L'étude de l'impact des urgences complexes montre que celles-ci ne sont pas systématiquement un facteur déclenchant des épidémies de choléra. Toutefois nous avons observé quatre flambées de choléra survenant après une urgence complexe, avec, pour deux d'entre elles, une épidémie qui démarrait dans un camp quelques semaines après l'arrivée des premières personnes déplacées. De fait, plusieurs conditions doivent se trouver réunies pour qu'une urgence complexe soit accompagnée d'une épidémie de choléra. Parmi ces conditions, il faut que certaines des personnes déplacées ayant fui un conflit soient porteuses du choléra (asymptomatique ou en incubation), ou bien que ces personnes arrivent dans une zone où des cas de choléra sont déjà présents.

Il faut de plus une absence ou une insuffisance de l'assistance aux personnes déplacées (fourniture d'eau potable et système de soins gratuits) pour que les épidémies

d'origine hydrique puissent se développer. Ces conditions existaient à Goma en 1994, lorsqu'un million de réfugiés venus du Rwanda ont construit des camps improvisés autour de Goma, submergeant les capacités de réponse des équipes humanitaires présentes. Plus récemment, à cause de l'insécurité qui a prévalu dans la région de Goma de l'été (début autour de la semaine 25) à l'automne 2008, une cascade de flambées de choléra a débuté à Rutshuru au nord de Goma et s'est étendue vers le sud et l'ouest : Rutshuru (début de l'épidémie lors de la semaine 37), Goma et Karisimbi (début semaine 40), Walikale et Birambizo (début semaine 44).

Dans chacune de ces zones de santé, l'épidémie a été apportée par des personnes ayant fui les zones de combat du nord de Goma (D. Bompangue, et G. Mutombo, responsables chargés des épidémies Nord-Kivu, données personnelles). Simultanément, à cause du danger excessif sur le terrain, de nombreuses ONG ont soit réduit considérablement leur personnel (et par conséquent leurs activités), soit quitté Goma et les zones voisines, alors que le choléra débutait, laissant les programmes de lutte désorganisés. Ces conditions de regroupement de populations dans des environnements précaires pourraient constituer une indication de recours à la vaccination, sous réserve que les conditions de sécurité le permettent.

Les mouvements de populations et les faits de désorganisation sociale, quand ils ne sont pas causés par des urgences complexes, peuvent l'être du fait des catastrophes naturelles. L'est de la RDC, a été frappé entre 2000 et 2008, par deux catastrophes naturelles notables : l'éruption du Nyiragongo à Goma en 2001 et un tremblement de terre à Bukavu en 2008. Le tremblement de terre de Bukavu s'est produit le 3 février 2008. Il a duré environ 20 à 30 secondes et avait une magnitude de 6,2 degrés sur l'échelle ouverte de Richter. D'après les nombreux rapports de terrain et de suivi épidémiologique des équipes médicales de Bukavu, cette catastrophe, qui a causé cinq décès et de nombreux dégâts matériels, n'a pas été suivie d'une augmentation du nombre de cas de choléra. Tout comme le tremblement de terre de Bukavu, l'éruption du Nyiragongo, la seule catastrophe naturelle importante de cette période, n'a pas été suivie d'épidémie de choléra, ni d'ailleurs d'aucune autre épidémie.

Au contraire, pendant les mois qui ont suivi cette éruption volcanique, les incidences hebdomadaires du choléra ont été parmi les plus basses observées à Goma pendant les huit années de l'étude. Ces résultats sont en accord avec une étude récente qui montre que les tremblements de terre, tsunamis et éruptions volcaniques ne sont généralement pas suivis d'épidémies (143). Plus particulièrement, depuis 20 ans, aucune épidémie de choléra n'a été observée au décours d'une catastrophe géophysique, même après le terrible tsunami asiatique de 2004. Nous confirmons ici que, **même dans une région où les épidémies de choléra sont courantes et dans une période favorable à ces épidémies (la saison des pluies), après une catastrophe qui a détruit environ 12 000 habitations et une grande partie du réseau d'eau de cette ville de 400 000 habitants, la survenue d'une épidémie de choléra n'est pas inéluctable.**

En fait dans ce cas précis, les acteurs de terrain nationaux et internationaux comprennent la nécessité d'agir dans la durée et de privilégier des actions visant à promouvoir l'hygiène, l'assainissement et l'accès des populations à une quantité suffisante d'eau potable. Cette exigence est d'autant plus importante que ces situations de

désorganisation sociale surviennent dans des zones identifiées comme sanctuaires du choléra.

Dans l'hypothèse d'un rôle majeur des lacs dans la persistance des cas de choléra, notre étude s'est focalisée sur la recherche de l'impact que pouvait avoir la fluctuation des blooms de plancton du lac sur l'incidence des cas de choléra. **Nos recherches n'ont pas permis de détecter de lien entre concentration en plancton et nombre de cas de choléra observés dans les sites lacustres étudiés.** Or, il a été clairement démontré en Asie le rôle des phytoplanctons dans la persistance des cas de choléra, ainsi que dans les redémarrages épidémiques lors des périodes de fluctuation.

Ces données sur le rôle du plancton dans la fixation pérenne du *V. Cholerae* ont conduit, dans plusieurs régions d'Asie, à la mise en place de programmes simples, mais efficaces de filtration d'eau de surface puisées au niveau des rivages de rivières ou d'autres cours d'eau (144). Dans notre étude, le nombre limité de sites étudiés (trois), les difficultés de télédétection des données dans ces zones très nuageuses, le nombre assez important de données manquantes sur le plancton dans l'un des sites étudiés, la période d'étude courte (4 ans), pourraient avoir influencé le résultat obtenu. Il conviendrait dès lors de vérifier ultérieurement cette hypothèse en s'entourant d'un maximum de garanties méthodologiques.

Cependant, les observations épidémiologiques semblent plaider contre l'existence d'un réservoir pérenne de *V. cholerae* toxigénique. dans les zones lacustres où le choléra n'existe pas de façon « permanente », il n'a pas été observé, de récurrences saisonnières qui ne puissent s'expliquer par l'importation de cas venus d'un foyer actif extérieur. L'évolution du choléra dans les zones de Kalemie et d'Uvira, où des actions sont menées pour contrôler la maladie, permettra de s'assurer de la présence ou non d'un réservoir environnemental pérenne.

Après avoir mis en évidence le rôle joué par de petits espaces géographiques lacustres dans le maintien global du choléra dans la région Est de la RDC, montré l'effet de la saisonnalité sur la répétition des épidémies de choléra, identifié le rôle majeur joué par des populations spécifiques dans la diffusion des épidémies et analysé les circonstances entraînant le redémarrage des flambées épidémiques, nos recherches se sont intéressé au fonctionnement global des épidémies de choléra à l'est de la RDC.

D'après nos résultats, si l'on ne considère que la série temporelle continue qui représente globalement les cas de choléra dans l'est de la RDC, la continuité des cas sur toute la période d'étude traduirait un fonctionnement endémique du choléra. Pourtant, jusqu'en 2005, les séries temporelles des zones de santé lacustres ont toutes, lorsqu'on les étudiait séparément, connues des périodes plus ou moins longues d'extinction des cas de choléra. Ces résultats montraient que les épidémies n'étaient pas stables isolément, même sur des zones considérées comme sanctuaires.

L'existence de périodes d'extinction totale impliquait que le choléra ne pouvait se maintenir dans un foyer donné sans l'apport de souches provenant d'un réservoir occulte (lacs) ou d'un autre foyer où des cas de choléra étaient rapportés. C'est à l'échelle de tout cet ensemble pris dans sa globalité, incluant les échanges entre les différentes zones, ou foyers sanctuaires de l'est de la RDC, que le choléra pouvait se maintenir dans la durée

dans cette partie de la région des Grands Lacs. **Ce fonctionnement par foyers intermittents, peut être considéré comme une sorte de métastabilité du choléra (et des populations de *V. cholerae*) dans la région des Grands Lacs.** Cet état évolutif d'un système a été utilisé en biologie des populations pour conduire des projets de conservation ou d'extinction d'espèces (145).

Dans le domaine des maladies infectieuses, certaines approches proposées pour lutter contre la coqueluche font appels à des concepts d'organisation d'espace (les villages en métapopulation), évoquant fortement une dynamique métastable de cette maladie dans les régions étudiées (146). A l'est de la RDC, ce fonctionnement métastable du choléra fait place depuis 2005 à une réelle tendance à l'endémisation (stabilisation) dans certaines zones lacustres parmi lesquelles Goma et Kalemie. Dans ces deux sites, depuis 2005, on retrouve des cas de choléra de façon ininterrompue tout au long de l'année, avec des périodes de brusque augmentation du nombre des cas rapportés, traduisant des flambées épidémiques.

Au total, on retrouve actuellement des foyers avec exclusivement des manifestations épidémiques (les zones urbaines et certaines zones rurales non lacustres), des foyers où le choléra se maintient globalement à travers un fonctionnement métastable (Uvira, Bukavu, Kasenga, Bukama et Bunia) et enfin, deux foyers où le choléra est réellement endémique, avec des périodes de survenue de flambées épidémiques (Kalemie et Goma).

En reprenant l'historique et le cycle évolutif du choléra à l'est de la RDC, nos résultats montrent que la situation actuelle est l'aboutissement de plusieurs phases. La première phase était celle d'un choléra essentiellement épidémique, la deuxième, une phase de métastabilité qui se poursuit encore dans plusieurs zones géographiques, et enfin, depuis quelques années, on observe un passage à un choléra réellement endémique. L'existence de zones endémiques à côté de zones métastables ou simplement épidémiques, pourrait suggérer que depuis quelques temps, le système fonctionne sur un mode puits-sources comme cela a été décrit dans le domaine de la biologie des populations (147). Ainsi, ce qui maintient le choléra pourrait être un mélange de métastabilité et de fonctionnement d'un système puits-sources rendu possible grâce à l'existence de quelques foyers devenus endémiques.

Deux hypothèses peuvent être émises pour expliquer le passage de la métastabilité à l'endémicité.

La première serait le fait de l'augmentation de la population dans les villes de Kalemie et de Goma. Alors même que cette population augmentait, les conditions d'hygiène et de la disponibilité en eau potable se dégradaient, obligeant des populations de plus en plus nombreuses à recourir aux eaux souillées des lacs et des rivières. Il s'en est suivi l'installation d'un cycle permanent d'échanges entre l'homme et l'eau de surface, qui a été de plus en plus intensément souillée. L'homme malade ou en incubation ou en convalescence ensemence le milieu, puis l'homme ayant besoin d'eau se contamine ou se re-contamine en venant puiser de l'eau dans des surfaces contaminées. Avec l'explosion démographique observée dans les villes de l'Est depuis le début de l'insécurité dans cette région, la pression de l'homme s'est accrue sur l'environnement. D'où le passage à un choléra permanent, donc endémique.

La deuxième hypothèse fait référence à une modification de l'écologie du lac, ce dernier devenant ainsi un meilleur réservoir (pérenne) du *V. cholerae*. En effet, des études sur la limnologie du lac ont montré que l'état du lac Tanganyika n'était pas stationnaire, et qu'il subissait depuis des années de constantes modifications (148). Des travaux de recherche accompagnant des projets sur la pêche dans le Tanganyika, ont montré que sur ces 10 à 20 dernières années, l'écologie du lac Tanganyika a profondément changé (149). Ces modifications pourraient avoir donné lieu à un état lacustre propice à une fixation du *Vibrio cholerae* au niveau du plancton (phyto ou zooplancton), le lac devenant ainsi un réservoir pérenne de la bactérie. A l'inverse, il pourrait aussi s'agir d'une adaptation de la bactérie à un environnement au départ non favorable, adaptation rendue possible par une présence prolongée et répétitive. Il est donc difficile de trancher.

Pour le faire, il serait nécessaire d'approfondir les enquêtes épidémiologiques pour rechercher le profil des populations atteintes en fonction de la consommation d'eau, analyser des génotypes des souches isolées, pour savoir s'il y a une seule souche circulante (traduisant un seul point de départ épidémique ou une seule source de réémergence) ou plusieurs souches circulantes (c'est-à-dire une grande diversité), signant la conjugaison de plusieurs foyers de réémergence épidémique, donc des échanges entre différents foyers ou plaidant en faveur d'un réservoir environnemental (lac) qui aurait emmagasiné différents clones au fil du temps.

A l'avenir, il sera donc important de surveiller les réservoirs potentiels au niveau des sites sanctuaires. Si des extinctions complètes sont observées dans un site sanctuaire ou réservoir potentiel, il faudra rechercher comment se font les reprises épidémiques. Selon que la reprise est endogène ou exogène, la signification n'est pas la même et cela devrait également influencer et orienter la conduite d'une surveillance opérationnelle des foyers de réémergence du choléra. Pour savoir où et comment redémarrent les épidémies, il convient d'associer à la surveillance clinique, une surveillance microbiologique faisant appel aux méthodes de biologie moléculaire (150). Cette recherche biologique ne devrait pas seulement se limiter à la partie humaine. Tout comme les études qui ont été conduites au Bangladesh (10, 11, 13, 39-43, 144), il sera nécessaire de faire des recherches de plancton et de *Vibrio cholerae* dans les eaux de surface des lacs et rivières de la région Est de la RDC. Un projet a été déposé dans ce sens avec des équipes de recherche belges. Les réponses à cet appel d'offre sont toujours attendues.

Cette situation d'épidémies à répétition avec une endémisation du choléra en RDC n'a aucune raison de s'améliorer spontanément si aucune action n'est entreprise. Au contraire, plusieurs conditions sont réunies pour que la situation ne fasse que se détériorer et s'aggraver. En effet, le réchauffement climatique et son impact sur l'écologie des lacs ne font plus de doute, l'expansion démographique dans cette région des Grands Lacs ne semble pas s'essouffler malgré un environnement social difficile, les conditions de production et de distribution d'eau potable ne font que se dégrader. De plus, au niveau international, la réalisation des objectifs du millénaire sur l'augmentation des apports en eau potable pour les populations des zones démunies semble de moins en moins d'actualité, l'accès à une eau potable n'a toujours pas été reconnu comme un droit fondamental (151).

Les ONG internationales par qui les institutions de financement ont décidé de faire transiter leur aide aux pays pauvres, sont moins intéressées aux projets d'adduction en eau potable, considérant cela, soit comme du développement, soit comme des fonctions régaliennes des Etats. Or ces mêmes Etats sont privés de financement direct, peinent à renégocier une dette qui ne cesse d'augmenter à cause des intérêts toujours croissants (146) et donc à engager de grands travaux d'aménagement public, surtout dans des situations post-confliktuelles et d'isolement international. Une analyse approfondie de la gouvernance des Etats nécessiterait un travail spécifique.

Après les aspects épidémiologiques et de contexte global, l'analyse de la situation en rapport avec l'organisation de la gestion de la lutte contre le choléra a permis la mise en évidence de certaines faiblesses qui pourraient contribuer à la persistance du choléra en RDC.

En effet, **jusqu'en 2005, les approches opérationnelles mises en place pour lutter contre le choléra se focalisaient essentiellement sur les grandes flambées épidémiques et visaient surtout les grandes villes. La prise en charge curative était la principale stratégie de lutte.** Cette situation est illustrée par le contenu de plusieurs publications sur le choléra en Afrique, publications consacrées essentiellement à des activités ou des enquêtes conduites lors des réponses à des flambées épidémiques (20, 114, 153-156). Chaque année, les ONG et les équipes locales enchaînent des missions de riposte aux flambées épidémiques sur le terrain, souvent aux mêmes endroits et aux mêmes périodes, et pour faire la même chose, à savoir construire des Centres de Traitement des cas de choléra et organiser la prise en charge curative. Dès que le nombre de cas fléchissait, les équipes se relâchaient ou se retiraient des zones d'intervention.

Ainsi, les stratégies de lutte n'intégraient pas tous les facteurs liés à la maladie, mais uniquement une de ses phases évolutives, c'est-à-dire, la phase de flambée épidémique. Aucune action n'était conduite durant les périodes inter épidémiques. Pourtant, les quelques fois où cela a été réalisé comme à Malemba Nkulu en 2002, le résultat a été une nette extinction des cas de choléra sur une période de plus d'une année avant une réintroduction à partir des foyers environnants. Les zones lacustres sanctuaires n'étaient pas une priorité d'action, quand bien même certaines observations de terrain avaient déjà permis de s'interroger sur leur rôle dans la reprise des épidémies de choléra.

C'est en ayant compris ce rôle spécifique déjà sur le terrain lors d'activités d'urgentiste avec le Pool d'Urgence Congo de MSF Belgique, que nous avons suggéré dès 2003 un projet de lutte contre le choléra ciblant la zone de Kinkondja (situé entre Malemba Nkulu et Bukama, autour du lac Upemba). Ce projet ciblait - déjà à l'époque - une zone lacustre aujourd'hui identifiée comme sanctuaire dans le bloc Bukama, il aurait dû être mis en oeuvre en période d'accalmie épidémique, associant l'amélioration de l'eau potable et un travail de proximité sur les pêcheurs, en plus du renforcement de la surveillance épidémiologique. Malheureusement, ce projet n'avait pas été accepté par l'organisation humanitaire à laquelle il avait été proposé, car n'entrant pas dans les critères d'intervention de cette dernière.

En recherchant plus loin, **on se rend compte qu'au-delà des choix stratégiques d'interventions des ONG et des acteurs de terrain, il y a de grandes difficultés à mobiliser des fonds pour ce type d'intervention, qui ne s'inscrivent pas dans des**

cadres d'urgence. Ces possibilités de financement sont d'autant plus difficiles que les zones d'exécution des projets sont situées dans des régions enclavées. Ainsi, il n'est pas rare de voir des projets installés dans certaines zones uniquement parce qu'elles sont soit très visibles (car les bailleurs de fonds et les ONG sont intéressés par leur visibilité), soit faciles d'accès, donc faciles à superviser. Et tout ceci, au détriment des avis épidémiologiques et du souci d'efficacité des projets.

Cette situation soulève deux problèmes. D'une part, le problème d'évaluation de certains projets (évaluation externe ?) et, d'autre part, celui plus global de l'impact de ces projets dits d'aide au développement, financés depuis bientôt trente ans par des budgets internationaux dont la plus grande partie est représentée par ceux de l'Union Européenne (157). Mais cette analyse serait incomplète si on n'évoque pas le rôle des équipes médicales, scientifiques et des différents responsables locaux, qui sont au contact direct des populations victimes de ces maladies.

Malgré les difficultés et les obstacles multiformes, les équipes et les responsables locaux devraient être en première ligne dans la recherche des solutions et le financement pour relancer la lutte contre ce type de maladie négligée. Il convient également de faire remarquer que certains schémas de mise en oeuvre de plusieurs projets de coopération ou simplement d'aide aux pays du Sud, ont beaucoup contribué à « *infantiliser* » des cadres du Sud, inhibant complètement en eux tous sens de prise d'initiative et de responsabilité.

Sur la base de la compréhension de l'épidémiologie du choléra issue de nos recherches, nous avons rédigé et proposé au Ministère de la Santé Publique de la RDC un plan de lutte visant à s'attaquer au choléra de façon globale et intégrée avec comme objectif de parvenir à l'élimination de la maladie. **L'hypothèse selon la quelle il est possible de parvenir à l'élimination du choléra dans cette région des Grands Lacs d'Afrique tient à plusieurs points.**

Premièrement, nos résultats ont montré l'instabilité du choléra dans la quasi-totalité des zones de santé. De plus, les tout derniers rapports épidémiologiques relatant l'évolution du choléra à Kalemie depuis la mise en oeuvre d'un programme pilote plaident pour la réversibilité du processus d'endémisation. Ceci est à rapprocher des résultats de quelques projets qui avaient pu être conduits dans d'autres zones de santé et qui avaient montré qu'on pouvait parvenir à faire disparaître le choléra durablement dans ces régions, surtout si l'on arrive à maîtriser simultanément ce qui se passe dans les foyers sanctuaires avoisinants.

Deuxièmement, ils ont montré la nécessité de mettre en oeuvre dans des zones lacustres, des projets durables combinant à la fois des actions d'amélioration des apports en eau potable, une approche renforcée et élargie de la surveillance épidémiologique, ainsi que des actions spécifiques sur des populations spécifiques. C'est dans ce dernier groupe d'intervention qu'on pourrait placer la vaccination qui pourrait être indiquée auprès des populations de pêcheurs et de commerçants habitant dans les campements (parfois flottant sur les lacs), de mai à décembre de chaque année (soit 8 mois dans des conditions où il n'est parfois simplement pas possible d'installer le moindre projet d'accès à l'eau potable).

Troisièmement, ils ont avancé que, dans un contexte de crise, nous apportons des éléments selon lesquels des projets « eau » ciblés sur quelques zones sanctuaires

de taille réduite ont un impact durable sur la dynamique du choléra. Ainsi, s'il faut lutter efficacement contre le choléra par des projets d'adduction en potable, il n'est pas obligatoire de mener de tels projets partout (ce qui du reste est irréaliste, car très coûteux). Les grandes villes éloignées des zones lacustres (zones où le choléra s'exprime avec une forte intensité, mais sans s'y maintenir) ne constituent pas la priorité dans le cadre d'une lutte durable contre le choléra.

Quatrièmement, il ressort de nos travaux que la partie ouest de la RDC, surtout des provinces de l'Equateur, du Bandundu, de Kinshasa et du Bas Congo, sont actuellement sans cas de choléra, en dehors des cas sporadiques et de brèves épidémies diffusant à partir de pays limitrophes. Ce qui limite grandement l'étendue des projets à réaliser.

Ainsi, il semble possible de parvenir à une élimination du choléra à l'est de la RDC, région qui actuellement fait partie des plus touchées au monde (6, 14, 15). Pour ce faire, la solution que nous avons proposée est identique à celle mise en oeuvre en Europe à la fin de la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle pour parvenir à une élimination du choléra.

Dans cette partie du monde, l'élimination du choléra est passée globalement par une amélioration générale du niveau de vie des populations, mais aussi de façon plus spécifique, par des projets d'assainissement et d'adduction en eau potable, quoique certains auteurs aient jugé leur effet limité (158). On se souviendra par exemple que les premiers grands égouts modernes de Londres ont été construits sur la base des travaux de l'ingénieur Joseph Bazalget, ce dernier mettant en place en 1858 des recommandations issues des observations de John Snow (159). Malgré cette victoire sur le choléra en Europe, il ne faudrait cependant pas perdre de vue les nombreuses difficultés qui avaient jalonné d'abord l'élaboration des mesures rationnelles de lutte, puis leur mise en oeuvre. Malgré la découverte du *Vibrio coma* par Pacini en 1854, puis par Koch (à qui la découverte a été attribuée), malgré la démonstration de John Snow en 1854, (54), le paradigme de l'origine hydrique du choléra a dû attendre près d'un demi-siècle encore pour supplanter la théorie des miasmes dominante à l'époque (160). Au 19^{ème} siècle en Europe, la prise de conscience par les scientifiques, les acteurs de santé publique et les pouvoirs publics du rôle de l'eau dans l'épidémiologie du choléra avait été déterminante dans la lutte contre cette maladie.

C'est ainsi que nous pensons que, en Afrique, l'un des volets importants devant précéder la mise en oeuvre de cette stratégie d'élimination du choléra, sera de convaincre d'abord la communauté scientifique, les acteurs de santé publique, les pouvoirs public et enfin les bailleurs de fonds. L'expérience menée actuellement au Katanga et qui sera bientôt généralisée à tout l'est de la RDC est en fait une première étape destinée à faire la preuve d'un concept : le choléra n'est pas une fatalité en Afrique et une action soutenue, mais ciblée sur quelques zones considérées comme sources des épidémies de choléra, est de nature à stopper totalement la transmission de la maladie sur des espaces géographiques vastes. Il s'agirait donc de changer l'objectif de contrôle du choléra (éviter les flambées meurtrières) pour celui d'élimination, qui implique une lutte plus soutenue dans les zones jouant le rôle de sources des épidémies.

Telle que la lutte contre le choléra est organisée actuellement en Afrique, cela définit déjà une approche de contrôle de la maladie (8, 9, 80) . Aussi, l'argument selon

lequel, dans l'état actuel de l'Afrique, il est préférable d'avoir pour objectif de lutte contre le choléra, le contrôle, reviendrait à dire : ne changeons rien à ce qui se fait actuellement. Cette décision est bien éthiquement inadmissible. Car, sous cette approche de contrôle qui dure depuis plus de 30 ans maintenant, nos résultats montrent que cette maladie dont l'origine est asiatique est en train de se « *sédentariser* » en Afrique, à travers un processus qui est passé de quelques épidémies à répétition à la métastabilité, puis à l'endémicité actuellement. Ainsi, si l'on voulait obtenir une inversion de la tendance et du profil évolutif du choléra dans ces régions, il n'y a pas un autre choix qu'une stratégie de lutte plus ambitieuse, qui de plus est cohérente et basée sur des résultats solides sur la compréhension de l'épidémiologie du choléra.

La seule possibilité pour une maîtrise durable du choléra dans cette région, c'est donc l'élimination.

En dehors de l'Asie où le choléra a toujours existé, dans toutes les autres régions du monde, Europe, Amérique, Afrique, le choléra a été une maladie importée. **Si, selon les rapports actuels de l'OMS, en Europe et en Amérique, on peut considérer la maladie comme éliminée, il n'est pas incongru de penser qu'on peut y arriver en Afrique.** Ceci est d'autant plus envisageable que, même dans les pays d'Afrique, il y a de vastes étendues géographiques, comme l'ouest de la RDC, où la maladie est absente malgré les problèmes de pauvreté et de sous-développement. (7, 82- 86).

Outre les justifications techniques, proposer l'élimination du choléra, c'est également l'occasion d'installer le choléra dans les priorités de santé publique du pays et de l'introduire dans les agendas internationaux de financement. Il s'agit de démontrer l'efficacité des stratégies proposées sur le terrain, puis de parvenir à les diffuser dans d'autres pays d'Afrique concernés par la maladie. Pour cela, il faudra continuer à investir de façon substantielle pour la mise en oeuvre des stratégies opérationnelles sur le terrain, en assurant un accompagnement scientifique des actions de terrain afin d'apporter les preuves de notre concept.

*

* *

En conclusion, **nos résultats décrivent un système cohérent permettant de comprendre les facteurs qui sous-tendent la récurrence et le maintien des épidémies de choléra dans la région des Grands Lacs africains. Le système met en évidence un mode évolutif logique du choléra.** La description et la prise en compte de ce mode évolutif, parfaitement ancré et dépendant de l'organisation et du mode de fonctionnement de notre société, devrait être un élément clé de la mise en oeuvre des plans de lutte. Le fait que des facteurs globaux comme le phénomène El Niño n'expliquent pas la totalité du fonctionnement de la maladie devrait amener à considérer toutes les échelles d'organisation de la société à travers une approche multi-échelles pour parvenir à comprendre la maladie et organiser des plans de lutte cohérents et efficaces.

Des raccourcis d'explication, tels ceux liant choléra et pauvreté sans autres explications, ne devraient donc pas se justifier.

Tel que nous l'avons décrit, le choléra est une maladie qui n'a rien à voir avec la vision qu'en donnent les médias internationaux. Le choléra n'est ni une maladie du « pauvre », ni une maladie de la pauvreté. Malheureusement, ce raccourci erroné revient souvent. **Même si les pauvres sont plus vulnérables, parce que plus exposés au manque d'eau, la carte du choléra, pourrait être celle d'une inégalité, l'inégalité dans la répartition des disponibilités en eau potable, l'inégalité dans la répartition des facteurs de vulnérabilité des espaces (présence d'importante population autour de zones lacustres).**

Ainsi, le problème de la lutte contre le choléra, ne devrait pas être confondu avec celui de la lutte contre la pauvreté. En particulier car cela constitue un très bon prétexte pour ne pas agir. Notre travail montre bien qu'en agissant sur des espaces géographiques très réduits (moins de 10% de la superficie totale des provinces de l'est de la RDC), on pourrait arriver à inverser la dynamique actuelle du choléra et parvenir à son élimination.

Le problème majeur réside dans la volonté des acteurs et des bailleurs à ne plus considérer uniquement la lutte contre les flambées épidémiques, mais la lutte contre le choléra-maladie. Il y a beaucoup d'idées reçues en rapport avec le choléra en Afrique, un réel décalage entre les idées souvent *a priori* que se font les acteurs de terrain, les bailleurs et la réalité telle qu'elle est sur le terrain. Ce fardeau des idées reçues et son impact négatif sur la lutte contre la maladie ne sont pas une spécificité de notre époque.

Un nouveau paradigme ne peut en chasser un ancien que si le nouveau apporte suffisamment de preuves montrant les failles du premier et les apports/bénéfices substantiels du nouveau (161). C'est comme cela qu'à la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, après près d'un demi-siècle de résistance, la théorie du choléra transmis par les miasmes était totalement supplantée par celle de l'origine hydrique du choléra. Là encore, la plus grande résistance ne venait pas des populations victimes du choléra, mais de la communauté des scientifiques, des acteurs de terrain, des bailleurs, des pouvoirs publics. Mais dès que ces catégories avaient adopté le nouveau paradigme, la voie vers l'élimination du choléra en Europe était dégagée.

Ainsi, **nous ne nous attendons pas à ce que ce soit simple de faire passer les concepts tels que celui de choléra enraciné dans des zones sanctuaires, ou bien de choléra-maladie professionnelle, de montrer que le choléra n'est pas d'emblée endémique, mais qu'il évolue en passant par un état de métastabilité pendant lequel il est encore vulnérable.** Nous nous attendons à de grands débats pour faire passer l'idée selon laquelle le choléra peut être éliminé dans la région des Grands Lacs et probablement aussi dans d'autres régions d'Afrique.

En même temps, nous espérons avoir les ressources, en particulier financières, nécessaires pour mettre en oeuvre le plan d'élimination du choléra amorcé en RDC et ainsi apporter des preuves par la démonstration sur le terrain qu'il est possible d'éliminer le choléra dans beaucoup d'autres régions d'Afrique. Aux difficultés pour accepter le concept de l'élimination du choléra s'associeront celles pour mettre en place des programmes d'élimination du choléra. Pourtant, au vu de la situation actuelle, c'est le seul moyen de mobiliser la communauté internationale (acteurs, bailleurs,...) sur cette maladie oubliée et négligée.

Face à ces difficultés, il revient aux scientifiques de faire les démonstrations les plus rigoureuses, d'orienter et de cibler les actions pour une meilleure efficacité et une aide à la mobilisation des fonds. De par sa formation, le rôle du scientifique ne devrait pas être celui d'élaborer et de mettre en place des projets de santé publique, surtout lorsqu'ils sont aussi ambitieux qu'un projet d'élimination d'une maladie. Mais il ne faudrait pas que cette attitude soit d'une rigidité doctrinale, il nécessite de rester flexible, pragmatique et de s'organiser en conséquence, car la mise en œuvre des programmes de lutte ne doit pas tarir la production scientifique.

La conception d'une nette séparation entre le scientifique d'un côté et l'acteur de santé publique de l'autre devrait évoluer. Le genre de programme comme celui que nous proposons ne peut aboutir qu'à la condition de réussir une parfaite combinaison entre le volet scientifique et le volet santé publique. Il n'y aura jamais de meilleur « avocat » de ce nouveau paradigme du choléra en Afrique continentale et de sa possibilité d'élimination que ceux qui en sont à l'origine et la première vague de ceux qui en comprendront la pertinence et la nécessité. La difficulté de cette articulation nécessite donc un nouveau profil de scientifique ayant une (grande) composante santé publique et une connaissance de terrain dans leur expérience.

Ce travail a fourni les bases d'une possible élimination du choléra en Afrique et les premiers résultats du projet pilote initié à Kalemie, sur les rives du lac Tanganyika montrent que cet objectif est réaliste. Aussi, il sera important que ces résultats scientifiques et les preuves apportées par la mise en œuvre du projet en RDC, servent de base de travail aux principales organisations internationales et aux gouvernements des pays touchés, afin de relancer la lutte contre le choléra en Afrique. **A présent, outre la nécessité de la poursuite des travaux scientifiques pour élucider les points encore sans réponses (telle la pérennité ou pas du choléra dans les eaux lacustres), il est important que les gouvernements, les organismes internationaux et toutes les autres institutions de financement s'approprient ces résultats et cette approche pour parvenir à éliminer le choléra en Afrique.**

BIBLIOGRAPHIE

- 1- WHO, Pandémies et conséquences du choléra,
<http://www.who.int/topics/cholera/impact/fr/index.html>, consulté le 20 août 2009.
- 2- Roberts L, Toole MJ., Cholera deaths in Goma. Lancet. 1995, 346(8971):360-2.
- 3- Anonyme, An old enemy returns, Bull World Health Organ. 2009 Feb; 87(2):85-6.
- 4- D. L. Swerdlow and M. Isaäcson, The Epidemiology of Cholera in Africa in *Vibrio cholerae* and Cholera: Molecular to Global Perspectives, Washington, DC, 2005, 297-307.
- 5- Rabbani GH, Mahalanabis D., New strains of *Vibrio cholerae* O139 in India and Bangladesh: lessons from the recent epidemics., J Diarrhoeal Dis Res. 1993 Jun;11(2):63-6.
- 6- World Health Organisation. *Cholera in 1971-2007. Wkly Epidemiol Rec*, 1971 à 2008.
- 7- Nicholas H. Gaffga*, Robert V. Tauxe, Eric D. Mintz, Cholera: A New Homeland in Africa?, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 77(4), 2007, pp. 705-713
- 8- Bigot A. *Management of a Cholera Outbreak*. Médecins sans Frontières, Paris, 1995, 107p.
- 9- WHO (1996) Guidelines for cholera control. Genova: WHO, Available: <http://whqlibdoc.who.int/publications/1993/924154449X.pdf>. consulté le 12 Avril 2009.
- 10- Emch M, Feldacker C, Islam MS, Ali M., Seasonality of cholera from 1974 to 2005: a review of global patterns, *Int J Health Geogr*. 2008 Jun 20;7:31
- 11- Colwell RR. *Infectious disease and environment: cholera as a paradigm for waterborne disease*. *Int Microbiol* 2004;7:285–9.
- 12- Ramamurthy T, Yamasaki S, Takeda Y, Nair GB. *Vibrio cholerae* O139 Bengal: *odyssey of a fortuitous variant*. *Microbes Infect* 2003;5:329–44.
- 13- Koelle K, Rodo X, Pascual M, Yunus M, Mostafa G (2005) Refractory periods and climate forcing in cholera dynamics. *Nature* 436: 696–700.
- 14- Griffith, D.C., L.A. Kelly-Hope, and M.A. Miller, *Review of reported cholera outbreaks worldwide, 1995-2005*. *Am J Trop Med Hyg*, 2006. 75(5): p. 973-7.
- 15- Mintz ED, Guerrant RL., *A lion in our village--the unconscionable tragedy of cholera in Africa.*, *N Engl J Med*. 2009 Mar 12;360(11):1060-3.
- 16- Sasaki S, Suzuki H, Igarashi K, Tambatamba B, Mulenga P., Spatial analysis of risk factor of cholera outbreak for 2003-2004 in a peri-urban area of Lusaka, Zambia., *Am J Trop Med Hyg*. 2008, 79(3):414-21.
- 17- Constantin de Magny G, Guégan JF, Petit M, Cazelles B., Regional-scale climate-variability synchrony of cholera epidemics in West Africa, *BMC Infect Dis*. 2007 Mar 19;7:20

- 18- Mendelsohn, J. and T. Dawson, *Climate and cholera in KwaZulu-Natal, South Africa: the role of environmental factors and implications for epidemic preparedness*. Int J Hyg Environ Health, 2008. 211(1-2): p. 156-62.
- 19- SO Alajo, J Nakavuma, J Erume., Cholera in endemic districts in Uganda during El Niño rains: 2002-2003., Afr Health Sci. 2006 Jun;6(2):93-7
- 20- Birmingham, M. E. *et al.* Epidemic cholera in Burundi: patterns of transmission in the Great Rift Valley Lake region. *Lancet* 349, 981-85 (1997).
- 21- Shapiro, R. L. *et al.* Transmission of epidemic *Vibrio cholerae* O1, In rural western Kenya associated with drinking water from lake Victoria: an environmental reservoir for cholera? *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 60, 271-276 (1999).
- 22- Cavailler P, Lucas M, Perroud V, McChesney M, et al., Feasibility of a mass vaccination campaign using a two-dose oral cholera vaccine in an urban cholera-endemic setting in Mozambique., *Vaccine*. 2006 May 29;24(22):4890-5.
- 23- Ministère de la Santé Publique de la RDC ; 4^{ème} Direction ; *Rapport épidémiologique annuel des maladies à potentiel épidémique en RDC en 2004* ; Kinshasa; 2005.
- 24- Actes des ateliers, lutte contre le cholera et les maladies diarrhéiques en Afrique de l'Ouest et du centre, *Vers une stratégie intégrée de réduction des risques*, UNICEF/ OMS, Dakar, 14-15-16 mai 2008
- 25- Kirschner AK, Schlesinger J, Farnleitner AH, Hornek R, Suss B, et al. (2008) Rapid growth of planktonic *Vibrio cholerae* non-O1/non-O139 strains in a large alkaline lake in Austria: dependence on temperature and dissolved organic carbon quality. *Appl Environ Microbiol* 74: 2004-2015.
- 26- Tantillo GM, Fontanarosa M, Di Pinto A, Musti M. Updated perspectives on emerging vibrios associated with human infections. *Lett Appl Microbiol* 2004;39:117–26.
- 27- Crump JA, Bopp CA, Greene KD, et al. Toxigenic *Vibrio cholerae* serogroup O141-associated cholera-like diarrhea and bloodstream infection in the United States. *J Infect Dis* 2003; 187:866–8.17.
- 28- Dhar R, Badawi M, Qabazard Z, Albert MJ. *Vibrio cholerae* (non-O1, non-O139) sepsis in a child with Fanconi anemia. *Diagn Microbiol Infect Dis* 2004;50:287–9.
- 29- Farina C, Gneccchi F, Luzzi I, Vailati F. *Vibrio cholerae* O2 as a cause of a skin lesion in a tourist returning from Tunisia. *J Travel Med* 2000;7:92–4.
- 30- Farina C, Luzzi I, Lorenzi N. *Vibrio cholerae* O2 sepsis in a patient with AIDS. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 1999;18:203–5.
- 31- Heath CH, Garrow SC, Golledge CL. Non-O1 *Vibrio cholerae*: a fatal cause of sepsis in northern Australia. *Med J Aust* 2001; 174:480–1.
- 32- Ko WC, Chuang YC, Huang GC, Hsu SY. Infections due to non-O1 *Vibrio cholerae* in southern Taiwan: predominance in cirrhotic patients. *Clin Infect Dis* 1998;27:774–80.

-
- 33- Lin CJ, Chiu CT, Lin DY, Sheen IS, Lien JM. Non-O1 *Vibrio cholerae* bacteremia in patients with cirrhosis: 5-year experience from a single medical center. *Am J Gastroenterol* 1996;91:336–40.
- 34- Magnusson MR, Pegg SP. *Vibrio cholerae* non-O1 primary septicaemia following a large thermal burn. *Burns* 1996;22:44–7.
- 35- Crump JA, Bopp CA, Greene KD, et al. Toxigenic *Vibrio cholerae* serogroup O141-associated cholera-like diarrhea and bloodstream infection in the United States. *J Infect Dis* 2003; 187:866–8.17
- 36- Dalsgaard A, Forslund A, Sandvang D, Arntzen L, Keddy K. *Vibrio cholerae* O1 outbreak isolates in Mozambique and South Africa in 1998 are multiple-drug resistant, contain the SXT element and the aadA2 gene located on class 1 integrons. *J Antimicrob Chemother* 2001;48:827–38.
- 37- de Leeuw A. The three companions. *Indonesian Legends and Folktales*, Edinburgh, New York, 1961
- 38- Morris JG, Jr. Cholera and other types of vibriosis: a story of human pandemics and oysters on the half shell. *Clin Infect Dis* 2003;37:272–80.
- 39- Collins AE. Vulnerability to coastal cholera ecology. *Soc Sci Med* 2003;57:1397–407.
- 40- Faruque SM, Naser IB, Islam MJ, et al. Seasonal epidemics of cholera inversely correlate with the prevalence of environmental cholera phages. *Proc Natl Acad Sci USA* 2005;102:1702–7.
- 41- Colwell RR. Viable but nonculturable bacteria: a survival strategy. *J Infect Chemother* 2000;6:121–5.
- 42- Collins, A.E., *Vulnerability to coastal cholera ecology*. *Soc Sci Med*, 2003. 57(8): p. 1397-407.
- 43- Colwell RR. Global climate and infectious disease: the cholera paradigm. *Science* 1996;274:2025–31.
- 44- Lobitz B, Beck L, Huq A, et al. Climate and infectious disease: use of remote sensing for detection of *Vibrio cholerae* by indirect measurement. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2000;97:1438–43.
- 45- Anonymous. El Niño and its impact on health. *Epidemiol Bull*, 1998;19:9–13.
- 46- Waldor MK, Mekalanos JJ. Lysogenic conversion by a filamentous phage encoding cholera toxin. *Science* 1996;272:1910–4.
- 47- Faruque SM, Mekalanos JJ. Pathogenicity islands and phages in *Vibrio cholerae* evolution. *Trends Microbiol* 2003;11:505–10.

- 48- Karaolis DK, Johnson JA, Bailey CC, Boedeker EC, Kaper JB, Reeves PR. A *Vibrio cholerae* pathogenicity island associated with epidemic and pandemic strains. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1998;95:3134–9.
- 49- Karaolis DK, Somara S, Maneval DR, Jr, Johnson JA, Kaper JB. A bacteriophage encoding a pathogenicity island, a type-IV pilus and a phage receptor in cholera bacteria. *Nature*, 1999;399:375–9.
- 50- Kaper JB, Morris JG, Jr, Levine MM. Cholera. *Clin Microbiol, Rev* 1995;8:48–86.
- 51- Sack DA, Sack RB, Nair GB, Siddique AK. Cholera. *Lancet*, 2004;363:223–33.
- 52- Shahinian ML, Passaro DJ, Swerdlow DL, Mintz ED, Rodriguez M, Parsonnel J. Helicobacter pylori and epidemic *Vibrio cholerae*, O1 infection in Peru. *Lancet* 2000;355:377–8.
- 53- Barua D, Burrows W. *Cholera*, WB Saunders, Philadelphia, 1974.
- 54- Snow J. *On the Mode of Communication of Cholera* (second ed.), London, 1855.
- 55- Pharoah P. Catastrophic failures of public health. *Lancet*, 2004; 363:1552.
- 56- Felix H. Epidémie de choléra en Afrique. Note d'information sur l'évolution de la situation entre Août et Décembre 1970, *Prese Médicale* 1971;79: 475–8.
- 57- Le Viguelloux J, Causse G. Réflexions sur l'épidémiologie du choléra en Afrique Occidentale. *Médecine Tropicale* 1971;31: 677–84.
- 58- Anonymous. Cholera in Goma, July 1994. Bioforce. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1996;44:358–63.
- 59- Anonymous. Cholera in the Americas. *Epidemiol Bull*, 1995;16:11–2.
- 60- Anonymous. Cholera, 2003. *Can Commun Dis Rep* 2004;30: 154–6.
- 61- Janssens P.G. et all ; *Médecine et hygiène en Afrique Centrale de 1885 à nos jours* ; vol I et vol II ; Fondation roi Baudouin ; 1992.
- 62- Malengreau M, Gillieaux M, De Feyter M, Wittman L., The cholera epidemic in Eastern Zaire in 1978; *Ann Soc Belg Med Trop*. 1979; 59(4): 401-12.
- 63- Schyns C, Fossa A, Mutombo-Nfenda, Kabuyahiya, Hennart P, Piot P, Colaert A.; Cholera in Eastern Zaire, 1978; *Ann Soc Belg Med Trop*. 1979;59(4):391-400
- 64- Dodin A, Masengo B, Loucq C., Controlled results of the oral anticholera vaccine from the Institut Pasteur during the Shaba-Zaire epidemic in 1983; *C R Acad Sci III*. 1984;299(7):205-7

- 65- MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 1998 May 22;47(19):389-91. , Cholera outbreak among Rwandan refugees--Democratic Republic of Congo, April 1997.Centers for Disease Control and Prevention (CDC).
- 66- Swerdlow DL, Levine O, Toole MJ, Waldman RJ, Tauxe RV., Cholera control among Rwandan refugees in Zaire., Lancet. 1994; 344(8922):616-7.
- 67- Ministère de la Santé Publique de la RDC ; 4^{ème} Direction ; *Rapport épidémiologique annuel des maladies à potentiel épidémique en RDC en 2001* ; Kinshasa; 2002.
- 68- Ministère de la Santé Publique de la RDC ; 4^{ème} Direction ; *Rapport épidémiologique annuel des maladies à potentiel épidémique en RDC en 2002* ; Kinshasa; 2003.
- 69- Adam Hochschild, Les Fantômes du roi Léopold : La terreur coloniale dans l'Etat du Congo, 1884-1908, Tallandier, 2007, 617p.
- 70- Du Shaba au Katanga, A propos du « massacre » d'étudiants de Lubumbashi et de la période pré-insurrectionnelle (1990-1993), Esdras Kambale Bahekwa, l'Harmatan, 2008, 154 pages
- 71- M. Kalulambi Pongo, Mémoire de la violence : du Congo des rébellions au Zaïre des pillages, *Revue canadienne des études africaines/Canadian Journal of African Studies* 33 (1999): 549-570.
- 72- C. Braeckman, Terreur africaine. Burundi, Rwanda, Zaïre : les racines de la violence, Paris, Fayard, 1996, pp.212-217.
- 73- MINISTERE DU PLAN (UNICEF PNUD OMS), Enquête national sur la situation des enfants et des femmes en RDC, MICS2, 2001
- 74- FAO, Rapport sur l'eau, Afrique en chiffres, Enquête AQUASTAT – 2005
- 75- Anonyme, Géographie et Aménagement dans l'Afrique des Grands Lacs, Colloque de Bujumbura, 25-29 janvier 1988, Collection pays enclavés, N° 3.
- 76- <http://www.congorama.com/voyages/climat1.htm>, 12 juin 2009, 11h., le climat et les saisons en RDC
- 77- Anonyme, Programme du gouvernement 2007-2011, RDC, Kinshasa, 2007, <http://www.un.int/drcongo/archives/ProgrammeGouvernementFinal.pdf>
- 78- Anonyme, document de la stratégie pour la croissance et de réduction de la pauvreté, République Démocratique du Congo, Kinshasa, juillet 2006.
- 79- Anonyme, Ministère de la Santé Publique, République Démocratique du Congo, Politique nationale sanitaire, Kinshasa, 2001.
- 80- Anonyme, Guide de la surveillance intégrée des maladies à potentiel épidémique en RD Congo. 2003, Ministère de la Santé. p. 210.

- 81- MSFB, Médecins Sans Frontières en République Démocratique du Congo, <http://www.msf.ch/index.php?id=448>, consulté le 23 mai 2009.
- 82- Jan Null, El Niño & La Niña Years: A Consensus List, <http://ggweather.com/enso/years.htm>, 12 mai 2009.
- 83- Ministère de la Santé Publique de la RDC ; 4^{ème} Direction ; *Rapport épidémiologique annuel des maladies à potentiel épidémique en RDC en 2005* ; Kinshasa; 2006.
- 84- Ministère de la Santé Publique de la RDC ; 4^{ème} Direction ; *Rapport épidémiologique annuel des maladies à potentiel épidémique en RDC en 2006* ; Kinshasa; 2007.
- 85- Ministère de la Santé Publique de la RDC ; 4^{ème} Direction ; *Rapport épidémiologique annuel des maladies à potentiel épidémique en RDC en 2007* ; Kinshasa; 2008.
- 86- Ministère de la Santé Publique de la RDC ; 4^{ème} Direction ; *Rapport épidémiologique annuel des maladies à potentiel épidémique en RDC en 2007* ; Kinshasa; 2009.
- 87- Harris JR, Cavallaro EC, de Nóbrega AA, Dos S Barrado JC, Bopp C, Parsons MB, Djalo D, Fonseca FG, Ba U, Semedo A, Sobel J, Mintz ED., *Field evaluation of Crystal VC(R) Rapid Dipstick test for cholera during a cholera outbreak in Guinea-Bissau.*, Trop Med Int Health. 2009 (Epub ahead of print).
- 88- Spiegel PB, Le P, Ververs MT, Salama P (2007) Occurrence and overlap of natural disasters, complex emergencies and epidemics during the past decade (1995–2004). *Confl Health* 1: 2.
- 89- OMS Afro, Contry press releases, Éruption du volcan Nyiragongo, janvier 2002, http://www.afro.who.int/country_offices_press/french/2002/pr200201.html, consulté le 07 janvier 2009.
- 90 -Anonyme, *Climate Prediction Centre Rainfall Algorithm Version 2* love T 2002, IRI. IRI/LDEO Climate Data Library. c2007, consulté le: 10 janvier 2009, <http://iridl.ldeo.columbia.edu>
- 91- Plisnier P-D, Chitamwebwa D, Mwape L, Tshibangu K, Langenberg V, et al. (1999) Limnological annual cycle inferred from physical – chemical fluctuations at three stations of Lake Tanganyika. *Hydrobiologia* 407: 45-58
- 92- *Comment faire une Analyse en Composante Principale (ACP) avec XLSTAT?* <http://www.xlstat.com/fr/support/tutorials/pca.htm>, 16/02/2006.
- 93- Venables, W. N. & Ripley, B. D. *Modern Applied Statistics with S.* (4th edition). Springer, New York, (2002).
- 94- Rigby, R. A. & Stasinopoulos, D. M. Generalized additive models for location, scale and shape,(with discussion). *Appl. Stat.* 54, 507-554 (2005).
- 95- Stasinopoulos, M., Rigby, B. & Akanziliotou, P. GAMLSS: Generalized Additive Models for Location Scale and Shape. R package version 1.6-0. (2007, <http://studweb.north.londonmet.ac.uk/~stasinom/gamlss.html>).

- 96- Lewin-Koh, N. J. & Bivand, R. The maptools package: tools for reading and handling spatial objects. R package version 0.6-12 (2007, <http://cran.r-project.org/src/contrib/Descriptions/maptools.html>).
- 97- Alam M, Hasan NA, Sadique A, Bhuiyan NA, Ahmed KU, Nusrin S, Nair GB, Siddique AK, Sack RB, Sack DA, Huq A, Colwell RR., Seasonal cholera caused by *Vibrio cholerae* serogroups O1 and O139 in the coastal aquatic environment of Bangladesh., Appl Environ Microbiol. 2006 Jun;72(6): 4096-104.
- 98- Cleveland, R. B., Cleveland, W. S., McRae, J. E. & Terpenning, I. A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *J. Off. Stat.* 6, 3-73 (1990).
- 99- Stasinopoulos, M., Rigby, B. & Akanziliotou, P. GAMLSS: Generalized Additive Models for Location Scale and Shape. R package version 1.6-0. (2007, <http://studweb.north.londonmet.ac.uk/~stasinom/gamlss.html>).
- 100- Pebesma, E. J. & Bivand, R. S. R News 5, 9 (2005, http://cran.r-project.org/doc/Rnews/Rnews_2005-2.pdf).
- 101- Ribeiro, P. J. & Diggle, P. J. R-News 1, 15 (2001, link at : <http://sal.uiuc.edu/csiss/Rgeo/>).
- 102- Legendre P, Legendre L. Numerical ecology. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier; 1998.
- 103- OMS Afro, Résolution AFR/RC57/WP/1 de la 57^{ème} session du Comité Régional de l'OMS sur « la résurgence du choléra dans la région africaine de l'OMS », Brazzaville, août 2007,
- 104- UNICEF/OMS, Actes des ateliers, LUTTE CONTRE LE CHOLERA ET LES MALADIES DIARRHEIQUES EN AFRIQUE DE L'OUEST ET DU CENTRE, *Vers une stratégie intégrée de réduction des risques*, Dakar, Mai 2008.
- 105- OMS, Normes Européennes applicables à l'eau de boisson, 2ème édition, Genève, 1971, http://whqlibdoc.who.int/publications/Normes_europeenes_applicables_a_leau_de_boisson.pdf, consulté le 14 mai 2009.
- 106- Colwell RR. Infectious disease and environment: cholera as a paradigm for waterborne disease. *Int Microbiol* 2004;7: 285–9
- 107- M. S. Sirajul, B. S. Drassar, B. Sack, The Aquatic Environment as a Reservoir of *Vibrio cholerae*: A review, *J Diarrhoeal Dis Res* 1993, 11 (4): 197-206.
- 108- Radojcic V., Cholera El Tor vibrios and atypical forms isolated during the outbreak of cholera in Kenya in 1971. *East Afr Med J.* 1973; 50(12):696-704.
- 109- M.S. Islam, B. S. Drassar, R. B. Sack, Ecology of *Vibrio cholerae* : role of aquatic fauna and flora, in cholera and ecology of *Vibrio cholerae*. B.S. Drassar and B.D. Forrest., Chapman & Hall, London, 1996, 187-227

- 110- Sack, R.B. and A.K. Siddique, *Corpses and the spread of cholera*. Lancet, 1998. 352(9140): p. 1570.
- 111- Siddique, A.K., et al., *Cholera epidemic and natural disasters; where is the link*. Trop Geogr Med, 1989. 41(4): p. 377-82.
- 112- Brown, V., et al., *Cholera outbreak during massive influx of Rwandan returnees in November, 1996*. Lancet, 1997. 349(9046): p. 212.
- 113- Sidley P., Floods in southern Africa result in cholera outbreak and displacement, BMJ. 2008; 336 (7642): 471
- 114- NM Manga, CT Ndour, SA Diop, NM Dia, R Ka-Sall, BM Diop, AI Sow, PS Sow., Cholera in Senegal from 2004 to 2006: lessons learned from successive outbreaks, Med Trop (Mars). 2008 Dec;68(6):589-92
- 115- Luque Fernández MA, Bauernfeind A, Jiménez JD, Gil CL, El Omeiri N, Guibert DH., Influence of temperature and rainfall on the evolution of cholera epidemics in Lusaka, Zambia, 2003-2006: analysis of a time series., Trans R Soc Trop Med Hyg. 2009 Feb;103(2):137-43.
- 116- Olago D, Marshall M, Wandiga SO, Opondo M, et al, Climatic, socio-economic, and health factors affecting human vulnerability to cholera in the Lake Victoria basin, East Africa, Ambio. 2007; 36(4):350-8.
- 117- Coghlan B, Brennan RJ, Ngoy P, Dofara D, Otto B, et al. (2006) Mortality in the Democratic Republic of Congo: a nationwide survey. Lancet 367: 44-51.
- 118- M. Van Herp, V Parqué, E Rackley, N Ford., Mortality, violence and lack of access to healthcare in the Democratic Republic of Congo., Disasters. 2003 Jun; 27(2):141-53
- 119- Epstein PR., Algal blooms in the spread and persistence of cholera., Biosystems. 1993; 31 (2-3): 209-21
- 120- Rodo X, Pascual M, Fuchs G, Faruque AS., ENSO and cholera: a nonstationary link related to climate change?, Proc Natl Acad Sci U S A. 2002 Oct 1;99(20):12901-6
- 121- Sack, R.B., et al., *A 4-year study of the epidemiology of Vibrio cholerae in four rural areas of Bangladesh*. J Infect Dis, 2003. 187(1): p. 96-101.
- 122- Samadi, A.R., et al., *Seasonality of classical and El Tor cholera in Dhaka, Bangladesh: 17-year trends*. Trans R Soc Trop Med Hyg, 1983. 77(6): p. 853-6.
- 123- Sack RB, Siddique AK, Longini IM Jr, Nizam A, Yunus M, et al. (2003) A 4-year study of the epidemiology of *Vibrio cholerae* in four rural areas of Bangladesh. J Infect Dis 187: 96–101.
- 124- Nyamogoba HD, Obala AA, Kakai R., Combating cholera epidemics by targeting reservoirs of infection and transmission routes: a review, East Afr Med J. 2002 Mar;79(3):150-5.

- 125- Kirschner AK, Schlesinger J, Farnleitner AH, Hornek R, Suss B, et al. (2008) Rapid growth of planktonic *Vibrio cholerae* non-O1/non-O139 strains in a large alkaline lake in Austria: dependence on temperature and dissolved organic carbon quality. *Appl Environ Microbiol* 74: 2004–2015.
- 126- Anonyme, Historique de la REGIDESO, <http://www.winne.com/congo/reports/2005/cp/regideso/index.php>, consulté le 23 mai 2009.
- 127- Perisic A, Bauch CT., Social contact networks and disease eradicability under voluntary vaccination., *PLoS Comput Biol.* 2009 Feb;5(2):e1000280.
- 128- Siddique, A.K., *Cholera epidemic among Rwandan refugees: experience of ICDDR,B in Goma, Zaire*. *Glimpse*, 1994. 16 (5): p. 3-4.
- 129- A. Ballo , et al, *L'eau à Bamako*, Presses universitaires de Limoges et du Limousin, Limoges, 1990, 55 p.
- 130- G. Salem, « Transition épidémiologique, changement social et soins de santé primaires dans les villes du tiers monde : introduction aux actes du séminaire de Pikine », colloques et semaines OROSTOM, Paris, 1989, pp. 3-9.
- 131- Graf J, Meierhofer R, Wegelin M, Mosler HJ., Water disinfection and hygiene behaviour in an urban slum in Kenya: impact on childhood diarrhoea and influence of beliefs., *Int J Environ Health Res.* 2008 Oct;18(5):335-55.
- 132- World Health Organisation. *Cholera in 2009. Wkly Epidemiol Rec*, 3 avril 2009. 84 (14): 109-116.
- 133- World Health Organisation, choléra au Zimbabwe, http://www.who.int/csr/don/2008_12_02/fr/index.html, consulté le 21 mai 2009.
- 134- MSFF, Zimbabwe - Le choléra se propage encore, <http://www.msf.fr/2009/01/26/1182/zimbabwe-le-cholera-se-propage-encore/>, consulté le 23 mai 2009.
- 135- Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Cholera outbreak-southern Sudan, 2007. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2009, 10; 58(13):337-41.
- 136- Bono O, Coulm J, Coulanges B, Sirol J, Tachon J, Felix H., Spread of cholera in the neighbourhood of lake Chad. Preliminary data, *Bull Soc Pathol Exot Filiales.* 1971; 64(4):387-98.
- 137- Faruque, S.M., et al., *Seasonal epidemics of cholera inversely correlate with the prevalence of environmental cholera phages*. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2005. 102 (5): p. 1702-7.
- 138- Luque Fernández MA, Bauernfeind A, Jiménez JD, Gil CL, El Omeiri N, Guibert DH, Influence of temperature and rainfall on the evolution of cholera epidemics in Lusaka, Zambia, 2003-2006: analysis of a time series, *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 2009; 103(2):137-43.

- 139- Eja ME, Abriba C, Etok CA, Ikpeme EM, et al., Seasonal occurrence of vibrios in water and shellfish obtained from the Great Kwa River estuary, Calabar, Nigeria, Bull Environ Contam Toxicol. 2008 Sep;81(3): 245-8,
- 140- Hutin Y, Luby S, Paquet C., A large cholera outbreak in Kano City, Nigeria: the importance of hand washing with soap and the danger of street-vended water., J Water Health. 2003 Mar;1(1):45-52.
- 141- Clemens J, Holmgren J., Urgent need of cholera vaccines in public health-control programs., Future Microbiol. 2009 May; 4(4):381-5.
- 142- Anonyme, Mouvement des populations en République Démocratique du Congo (Déplacés internes), <http://www.rdc-humanitaire.net/?Mouvement-des-populations-en,434>, consulté le 21 avril 2009.
- 143- Floret N, Viel JF, Mauny F, Hoen B, Piarroux R (2006) Negligible risk for epidemics after geophysical disasters. Emerg Infect Dis 12: 543-548.
- 144- Colwell RR, Huq A, Islam MS, Aziz KM, et al., Reduction of cholera in Bangladeshi villages by simple filtration., Proc Natl Acad Sci U S A. 2003 Feb 4;100(3):1051-5.
- 145- Van Nimwegen E, Crutchfield JP., Bull Math Biol. 2000 ;62(5):799-848., Garcia de Leaniz et al., A critical review of adaptive genetic variation in Atlantic salmon: implications for conservation, Biol Rev Camb Philos Soc. 2007 May;82(2):173-211
- 146- Broutin, H., Guegan, J. F., Elguero, E., Simondon, F., Cazelles, B., Large-scale comparative analysis of pertussis population dynamics: periodicity, synchrony, and impact of vaccination. Am J Epidemiol, 2005 161(12): p. 1159-67.
- 147- Krutovskii KV., From population genetics to population genomics of forest trees: integrated population genomics approach, Genetika. 2006 Oct;42 (10):1304-18.,
- 148- Plisnier P-D, Chitamwebwa D, Mwape L, Tshibangu K, Langenberg V, et al. (1999) Limnological annual cycle inferred from physical – chemical fluctuations at three stations of Lake Tanganyika. Hydrobiologia 407: 45-58.
- 149- O'Reilly CM, Alin SR, Plisnier PD, Cohen AS, McKee BA., Climate change decreases aquatic ecosystem productivity of Lake Tanganyika, Africa., Nature. 2003; 424(6950):731-2.
- 150- Albert MJ., Epidemiology & molecular biology of *Vibrio cholerae* O139 Bengal., Indian J Med Res. 1996 Jul;104:14-27.
- 151- Anonyme, le droit à l'eau, <http://www.un.org/french/waterforlifedecade/righttowater.html>, consulté le 30 mai 2009.
- 152- Anonyme, La question de la dette extérieure des pays africains, http://www.cetim.ch/fr/interventions_details.php?iid=158, consulté le 21 avril 2009.
- 153- Anonyme, Cholera outbreak--southern Sudan, 2007.Centers for Disease Control and Prevention (CDC), MMWR Morb Mortal Wkly Rep. 2009 Apr 10;58 (13): 337-41.

- 154- Albert MJ, Neira M, Motarjemi Y, The role of food in the epidemiology of cholera, *World Health Stat Q*. 1997;50(1-2):111-8.
- 155- Moszynski P, Cholera outbreak in Darfur is made worse by advent of rains, *BMJ*. 2006 Jun 24;332(7556):1472.
- 156- Ndour CT, Manga NM, Ká R, Dia-Badiane NM, Fortez L, Seydi M, Soumaré M, Sow AI, Diop BM, Sow PS, Cholera epidemic of 2004 in Dakar, Senegal: epidemiologic, clinical and therapeutic aspects, *Med Trop*. 2006, 66(1):33-8.
- 157- Anonyme, Relations entre l'Union européenne et l'Afrique, http://ec.europa.eu/development/geographical/regionscountries/euafrica_fr.cfm#partnership, consulté le 21 mai 2009.
- 158- Kerremans JJ., Improvement of public health in London in the nineteenth century and the probably limited role of the new sewage system, *Ned Tijdschr Geneesk*. 2007 22;151(51): 2852-6.
- 159- Cook GC, Construction of London's Victorian sewers: the vital role of Joseph Bazalgette, *Postgrad Med J*. 2001 Dec;77(914):802-4.
- 160- Vandembroucke JP, Invited commentary: the testimony of Dr. Snow, *Am J Epidemiol*. 2000 Jul 1;152 (1):10-2.
- 161- Josiane C. Tantchou Yakam, «B. Dujardin, *Politiques de santé et attentes des patients. Vers un nouveau dialogue*», *Le bulletin de l'APAD*, n° 26, *Gestion des ressources naturelles. Participations et médiations* , [En ligne], mis en ligne le : 16 juin 2008. URL : <http://apad.revues.org/document3653.html>. Consulté le 24 août 2009.

ANNEXES

ANNEXES

- *Needs for an Integrative Approach of Epidemics: The Example of Cholera ;*
- *Lakes as Source of Cholera Outbreaks, Democratic Republic of Congo ;*
- *Cholera Epidemics, War and Disasters around Goma and Lake Kivu: an Eight Year Survey ;*
- *From research to field action: example of the fight against cholera in the Democratic Republic of Congo ;*
- *Actes des ateliers UNICEF/OMS : lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques en Afrique de l'ouest et du centre : Vers une stratégie intégrée de réduction des risques Dakar 14-15-16 mai 2008 conclusions et recommandations ;*
- *Bulletin du Projet d'Élimination du Choléra en RDC N° 001 Septembre 2008.*

CHAPTER 37

Needs for an Integrative Approach of Epidemics: The Example of Cholera

R. Piarroux and D. Bompangue

Santé et Environnement Rural, Université de Franche-Comté, EA 2276, Besançon, France

Every year Cholera made a visit to the Holy City of Mecca with her companions Death and Fear. One year however, Fear came to the city before Death and Cholera. The old gatekeeper, who did not know Fear, let her enter. When Cholera and Death arrived at the gate, the gatekeeper shouted, "Cholera, how many victims will you take this time?" "Not more than 500 I'm sure this time," Cholera said. "Death, how many will you take?" the gatekeeper cried. "As always, I will take only what Cholera gives me." The gatekeeper let them enter. Weeks later, Death and Cholera returned and called to the gatekeeper, "Open the gates." "Cholera, how many victims did you take?" the gatekeeper asked. "Only 499," Cholera answered. "And Death, how many did you take?" asked the gatekeeper "I took more than a thousand." "You promised you'd only take what Cholera gave you!" the gatekeeper cried. "Yes," Death answered sadly, "Most of those who died were taken by Fear who entered your gate alone before us. Now you know that Fear does more harm and causes more deaths than Cholera!" [19].

37.1 INTRODUCTION

According to official reports, 100,000–400,000 new cases have been recorded each year during the past two decades [4,5,50]. Most of these cases have been reported during outbreaks occurring in Africa [47]. These data are all the more alarming because cholera is notoriously under-declared, either due to failure to diagnose it or because governments are afraid of the deleterious consequences, which outbreak reports will have on their economy and tourism. Some

authors estimate that worldwide, cholera was responsible for more than 6 million deaths (recorded and nonrecorded) during the 1990s alone [13]. Due to its obvious links with poverty, malnutrition, poor access to health facilities, and armed conflict, cholera is one of the main problems that concern medical nongovernmental humanitarian organizations (NGO), and particularly those NGOs intervening in crises and emergencies. However, this is only one of the many aspects of cholera. Cholera is also an infectious disease caused by environmental bacteria, which live in estuarine and brackish waters. The relationship between *Vibrio cholerae*, the causative agent of the disease, and environment has been studied from the molecular level (How have some *V. cholerae* strains acquired the capacity to infect humans and provoke epidemics?) to a planetary level (Do global climatic changes affect the patterns of cholera epidemics?). And last but not least, as shown by the short tale at the beginning of this chapter, the word cholera is often associated in people's minds with the notions of death and fear. This disease is actually one of the rare diseases that has played an influential role in human history, especially during the nineteenth century, affecting rural areas as well as the largest industrialized cities of Europe and North America. At that time, cholera was responsible for panic and irrational behavior, revealing society's most deeply buried fears. With this in mind, cholera in the nineteenth century is comparable to the plague in the Middle Ages. Even now, in 2005, the word "cholera" is still capable of inducing fear in people all over the world, including reporters and NGO volunteers, whose subsequent testimonies cause inappropriate reaction in the general public and politicians. People's beliefs and fears about cholera, their

behavior during an epidemic, as well as the attitude of medical staff and other actors involved in the fight against the disease, play major roles in the dynamics of epidemics. On a larger scale, public opinion about this disease appears to be one of the main determinants in the willingness of political actors to take action against cholera and to financially support public health programs targeting this disease. To take a closer look at these different aspects of cholera, we will present the causative agent and its natural environment, followed by a description of the disease first from an individual and medical point of view and then from a collective and historical one. We will thereby attempt to account for the impressive fact that this disease still exists, in 2005, despite the considerable medical and scientific progress that has been made over the last two centuries.

37.2 VIBRIO CHOLERAЕ AND ITS NATURAL ENVIRONMENT

37.2.1 *Vibrio Cholerae*

Cholera is caused by bacteria of the *V. cholerae* species. They are gram-negative, curved, and each presents with a single polar flagellum, which provides rapid mobility, a characteristic of the *Vibrio* genus (Fig. 37.1). Cholera is a waterborne disease, and *V. cholerae* has been identified as free-living bacterial flora in brackish water in estuarine areas where it can colonize the surface of algae and plankton [15, 49]. These bacteria existed long before humans; most *V. cholerae* strains are still part of the natural flora of the aquatic environment. Among them, some aquatic clones acquired new genetic information and were then able to colonize the human [55]. Epidemics of cholera are caused by *V. cholerae*, which belong to the O1 or O139 serogroups. In the O1 serogroup, two biotypes, called "classical" and "El Tor" have been identified. They can be differentiated using biological

techniques such as the study of biochemical characters or of susceptibility to bacteriophages (viruses infecting bacteria), and resistance to antibiotics such as polymyxin B. However, techniques based upon DNA identification are today more generally used in differentiating *V. cholerae* isolates. Besides O1 and O139, there are many other strains, which belong to the species *V. cholerae*, but they do not cause cholera. They are called non-O1 non-O139 strains and can sometimes be isolated in humans who are suffering from benign diarrhea or other pathogenic conditions such as wound infections, or who are immunocompromised and have sepsis [17,21,23,24,31,37,41,43].

Identification of the species, the serogroup, and the biotype is enough to diagnose the disease. However, from an epidemiological point of view, other tools are required to track cholera clones during an outbreak or to find an environmental origin for an epidemic clone. Basically, each O1 biotype can be subdivided into serotypes, differing in their ability to synthesize A, B, and C antigens. Serotype Ogawa strains synthesize A and B antigens and a low amount of C antigen; serotype Inaba strains only produce A and C antigens, and Hikojima strains synthesize all three antigens. However, this last serotype is rarely encountered. Many other techniques have been successfully used to differentiate cholera isolates, including bacteriophage typing, amplified fragment length polymorphism, multilocus sequence typing, repetitive extragenic palindrome PCR, ribotyping, and whole genome [22,32,33,39].

37.2.2 Biotope of *Vibrio Cholerae*

In nature, *V. cholerae* usually lives in brackish water (salty and alkaline), containing plankton and organic matter. These conditions are encountered in coastal areas, where fresh water from rivers mixes with marine salt water. *V. cholerae* has been found to colonize the surface of algae and copepods, and is capable of existing in such environments during prolonged periods [11, 25]. In their environmental reservoir populations of *V. cholerae* change depending upon certain parameters. In Bangladesh, it has been shown that the frequency of cholera cases increased during the wet season, a warm period during which plankton and algae proliferate [28, 52]. Inversely, if deleterious environmental conditions occur, such as nutrient depletion, lower temperatures, or excess of salt, *V. cholerae* can change into a viable but unculturable form [16, 28]. Estuarine and coastal areas are dynamic ecosystems, in which populations of *V. cholerae* are in equilibrium with other organisms composing plankton. This dynamic aquatic ecology may be affected by human activities through organic and industrial pollution, which, for some authors, can affect the bacteria's virulence, even before it is ingested [13]. The survival of *V. cholerae* on plankton has sometimes led to small outbreaks occurring after consumption of oysters collected from polluted coastal areas [45]. Human and environmental interaction in coastal areas is therefore an important component of the explication of the link between coastal environments, organisms of which are ingested, and cholera incidence [13]. Due to the links existing between *V. cholerae* populations,



Fig. 37.1. *Vibrio cholerae* J. DOWDALLS/PHOTO RESEARCHERS/BSIP.

physicochemical and biological characteristics of their natural biotope, and their capacity to infect humans, it is likely that human activity and its effect on global climate change may have some impact on cholera epidemiology. Several studies have already shown the relationship between the incidence of cholera in the Bay of Bengal, the temperature of water, and seasonal abundance of plankton in estuarine waters [14, 42]. The Southern Oscillation, a large-scale atmospheric “seesaw” centered over the equatorial of the Pacific Ocean, and the consequences of its activity, called El Niño, a term used to describe an anomaly in the flow of ocean water along the west coast of South America, have also been considered as a key factor in explaining the spread of cholera epidemics during certain years, in Asia, Africa, and South America. The change of atmospheric pressure due to Southern Oscillation activity influences the climate even in regions quite distant from it: Drought in South-East Asia and parts of Africa contrasting with heavy rainfall and flooding in other parts of Africa and South America. Cholera outbreaks can occur in either floods or drought [7,14]. It has been suspected that Southern Oscillation and El Niño played a role in the recrudescence of cholera in East Africa in 1997 and 1998 as well as in South America in 1991 and 1998. The effects of global climatic change provoked by human activity on the range and frequency of Southern Oscillation activity are still questionable, but it has been hypothesized that, in the future, these phenomena will be both more frequent and more intense. However, this does not mean that the risk of cholera will increase in the future, because the spread of cholera epidemics are due to a number of factors, including socioeconomical factors that will also evolve with the time.

37.2.3 VPIΦ, CTXΦ bacteriophages and pathogenic strains of *V. cholerae*

The ability of *V. cholerae* strains to induce cholera in humans depends on the presence, in their genome, of clusters of virulence genes, including the CTXMP prophage [56] and the toxin-coregulated pilus (TCP) pathogenicity island [26]. The genome containing the CTXMP prophage is transmitted to the bacterium *via* a biological event called lysogeny. Lysogeny is a phenomenon in which a bacteriophage infects the bacterium, but rather than killing it, its genome incorporates itself into the bacterial genome, and a new organism is produced which is a recombination of the two genomes. The TCP island contains genes coding for proteins that are involved in the biosynthesis of TCP, a pilus required for colonization of the small intestine [35]. Although the origin of this pathogenicity island is still questionable for some authors [26], Karolis et al. [36], in a recent paper, gave some substantial arguments showing that the TCP island is probably the genome of a filamentous phage called VPIM. Toxigenic *V. cholerae* seems to be the result of successive attacks of some environmental *V. cholerae* by phages, which incorporated their genome, thus producing a bacteria-phage chimera [27]. Toxigenic *V. cholerae* therefore present with a set of virulence characters, including the ability to fix themselves on intestinal mucosa, and a toxin, called

cholera toxin, which is responsible for the clinical features of the human disease. This toxin has a molecular weight of 84,000 and is composed of five B subunits and one A subunit [34]. B subunits are involved in the fixation of the toxin on GM1 ganglioside receptors located on the mucosa of the human small intestine. A subunit is responsible for the toxic effect. It is transported into the cell where it activates adenylate cyclase, leading to an increase in cyclic adenosine monophosphate (cAMP). Chloride secretion is increased and neutral sodium chloride absorption is inhibited, which in turn leads to a massive outpouring of fluids into the small intestine exceeding the absorptive capacity of the bowel, resulting in watery diarrhea [51]. Briefly, cholera is more a toxin-provoked disease than an infectious disease, resulting in watery diarrhea and transmitted by an environmental bacterium, *V. cholerae*, which was previously infected by two phages. One of them is CTXMP and encodes for the toxin, and the other is VPIM, or a similar one, and encodes for other pathogenic factors.

37.3 CHOLERA

37.3.1 Clinical Manifestations

Clinical manifestations of cholera, which are due to the proteic enterotoxin described above, can take a variety of different forms, from the asymptomatic carrier to the “full-blown” syndrome with acute hypotension and almost immediate death. The more vibrios there are, the more toxin is secreted, and thus the more severe are the symptoms. In the classical form, cholera begins 12 h to 5 days after the ingestion of *V. cholerae*, with watery diarrhea, beginning abruptly and rapidly increasing. Stool is singularly afaecal, and quickly takes on the typical “rice-water” appearance: a grey and turgid liquid, with some mucus flecks. This diarrhea can be accompanied by vomiting, muscle cramps, and abdominal pain, but no fever. The other signs of cholera are a result of dehydration and vary with its degree of severity: thirst (loss of 3–5% of body weight), postural hypotension, tachycardia, decrease in skin turgor (5–8%), hypotension and weak or absent pulse, ocular hypotension, wrinkled skin (sunken fontanelles in infants), somnolence and coma (more than 10%). Dehydration is accompanied by anuria, which can only be corrected if the patient is rehydrated. Many patients present with respiratory acidosis with Kussmaul’s gasping breathing. A patient with the most acute syndrome dies in a few hours from hypovolemic shock, sometimes even before having diarrhea. Several complications can occur, especially when patients are subjected to inadequate treatment, including acute renal failure, hypoglycaemia, and hypokalaemia [51]. In pregnant women, shock and insufficient perfusion of the placenta may lead to miscarriage or premature delivery [51].

It is important to remember that in epidemic conditions, the sudden outbreak of a disease which can take hold of individuals who are in perfectly good health and, in only a few hours, radically transform them physically, is enough to frighten anyone. Acute dehydration changes the victims into

dried up caricatures of their former selves. Respiratory difficulties and approaching death can be accompanied by cyanosis, which turns the skin blue, and neurological disorders can make the person appear to be possessed. And what if the epidemic hits in the middle of Mardi Gras or Carnival? In a letter to a friend, the German poet Heinrich Heine described an outbreak of cholera in Paris at a masked ball. He wrote, “Suddenly the most gaily-clad of the harlequins collapsed, his limbs cold and he removed his mask, revealing a face that had turned violet-blue. The laughter died, the dancing ceased, and in just a few minutes the carriages of the guests rushed headlong from the ball to the hospital to die there. To prevent the patients from panicking, the dead were thrown unceremoniously into freshly-dug graves, still wearing their harlequin costumes.”

Cholera, however, does not always present with such a severe form, and during an epidemic, a high percentage of persons infected with the *V. cholerae*, either do not appear ill at all or present with common diarrhea, which the patient does not identify as cholera. This is due, on the one hand, to individual variations in susceptibility to cholera (blood group, gastric acidity, previous immunization, and concomitant infection [53]), and on the other hand, to the quantity of bacteria ingested. While the large percentage of asymptomatic and pauci-symptomatic patients is good from a medical point of view, it is anything but from an epidemiological point of view, because of the repercussions on the dissemination of the germ. Asymptomatic carriers invalidate any attempt at detection for carriers and cripple any attempts to stop transmission. And lastly, asymptomatic carriers allow the bacterium and the CTXMPHage to travel with their new human host without killing or even immobilizing him/her, thereby increasing the chances of colonizing new biotopes: something they could not have done without human help. Thus, some authors have presented the hypothesis that *V. cholerae* O1 colonization of new coastal biotopes in Africa and South America could become a reality, given the epidemic outbreaks that occurred at the end of the twentieth century [39].

37.3.2 Guidelines for Collective Management of a Cholera Epidemic

Here, we will deal only with the general guidelines for the collective management of a cholera epidemic. For more details, we refer the reader to documents put out by WHO, Centers for Diseases Control and the main medical NGOs [3,6,10]. The first priority is to set up centers for the treatment of cholera (CTC). In refugee camps, CTCs are generally built from scratch, but when epidemics occur in the open areas, it is often easier and cheaper to set them up in what already exists, such as designate one building of a hospital complex as the cholera building. A CTC has a dual purpose: Reduce the effects of the disease by establishing early appropriate treatment (mainly rehydration of the sick), and limiting the spread of the germ by isolating the sick. The CTC must be physically isolated from outside by an entry way in which hands and shoes are disinfected. To reduce the comings and goings, toilet facilities and an area for food preparation

must be built inside the CTC. The patients should be placed on beds with perforated mattresses, one bucket under the bed and another at the head of the bed. In this way, patients are spared from getting up. Usually, one person is permitted to remain with the patient to help him/her to drink and eat. Day and night supervisory shifts must be organized and simple treatment protocols, which are easy to implement, must be set up. The patient should be rehydrated orally if his clinical state is not alarming (at this point, the solution recommended by WHO is used) or, if dehydration is very serious or if repeated vomiting prohibits the oral route, the parenteral route with Ringer lactate should be used. Rehydration quantities to be perfused should be calculated depending on clinical signs and the quantity of liquid lost. It is not unheard-of to perfuse a very dehydrated patient with about 10 L of rehydration solution during the first 24 h. With antibiotherapy, the duration of the symptoms can be shortened for patients presenting with a significant loss of liquids [9]. Because *V. cholerae* isolates can be resistant, some samples must be sent to a laboratory to test for their sensitivity to antibiotics. Bacteriological exams need not be done for each patient. It is thus possible to have a CTC without a built-in laboratory. Nevertheless, CTCs are not light structures, and it is impossible to set one up in each cholera-infected village or neighborhood. Oral rehydration stations can be set up in those places that are far from CTCs. These are light structures, manned by a nurse, whose main role is to differentiate between those who need only oral rehydration and can be treated at the station, and those who need perfusions and therefore must be referred to a CTC. These stations can be set up as the epidemic spreads; they can relieve the pressure on the CTCs and can curb cholera complications by giving first aid. With well-coordinated access to CTCs and the consequent improvement in care, the lethality of cholera can be considerably reduced, that is, to below the threshold of 1%, as opposed to the 10% of the worst situations. This can be done by offering free care, by informing patients of the importance of getting care as quickly as possible, and by setting up as many CTCs as possible within reasonable distances from the foci of the epidemic.

Because there are asymptomatic and pauci-symptomatic carriers, even the early treatment of cases cannot stem an epidemic. The most efficient method for combating cholera is to improve access to potable water. This principal is now usually applied in refugee camps. The provision of 15–20 L of potable water per day, per person as quickly as possible has now become the objective to avoid the outbreak of a large-scale epidemic such as the one in Goma in 1994. Cholera, however, is not just specific to refugee camps; outbreaks occur even more often in open areas, such as rural areas where access is difficult, or in the poorer sections of African cities piped water is not available to all households. In these cases, *a priori*, many aid program agendas do not include water distribution. They say that it is a development problem, and development would take too long, considering the urgency inherent in an epidemic. Actually, as the two examples at the

end of this chapter will illustrate, epidemics in the field can take a long period of time to spread, more than a year, and in this case, improvements in water supply networks are possible. Experience acquired from natural catastrophe management shows that provisional water stations, made available during a critical period, can be set up in a few days. This can be as basic as cisterns, filled regularly by trucks.

Because the new vaccines have proved to be more efficient than the old ones, a vaccination campaign can be launched [12]. However, even the efficiency of the new vaccines is far from perfect and if a vaccination campaign is considered, it should be done in collaboration with research teams and WHO.

Another key point in the prevention of cholera epidemics is the building of latrines, or at least the creation of designated areas for defecation. This is a priority in refugee camps. In the field, however, it is very difficult to build latrines in time so that they will be operational during the epidemic. And even if that can be done, it is even more difficult to induce the people concerned to change their way of life right down to their most private behavior. Educational campaigns to try to do this are often proposed. This means describing the main symptoms of the disease, explaining why victims should seek care as soon as possible, and recommending good hygiene procedures such as frequent washing of hands and the use of good water for drinking and cooking. At first glance, holding a meeting to raise people's awareness seems simple, but it is actually one of the most delicate of missions to carry out. What can the success rate for the advisor and his/her audience be, when language, sociological and cultural barriers, just to mention a few, have to be surmounted? Can our concept of infectious diseases, with their microbes that no one in the audience has seen, be understood and accepted? And even if the speaker has succeeded in convincing those present, what about those, far greater in number, who did not come to the meeting because they had something else to do that day? Will they actually adopt the advice given by those who attended without a moment's hesitation? It must also be noted that the effectiveness of these constantly proposed sensitization meetings is hardly ever evaluated.

37.4 MAN AND CHOLERA EPIDEMICS IN THE NINETEENTH AND TWENTIETH CENTURIES

When a disease can be classified as an epidemic, and especially when it becomes a pandemic and spreads to several continents, it ceases to be just a medical issue and becomes also a political and social issue. And much more than any other infectious disease, cholera has maintained direct links to humans throughout the centuries. It has presented as many different epidemiological aspects and geographical ranges in just as many historical periods. A journey back to a few hundred years ago can show us threads that have always existed despite the diversity in place and times, and this can help us understand today's cholera.

Cholera was unknown to Western society before the nineteenth century, but there are traces in the Indian subcontinent, especially in the areas bordering the Bay of Bengal. Reference is made to deaths caused by diarrhea accompanied by clinical signs of dehydration in Hippocrates' writings and even in some Sanskrit texts [8]. In 1573, Garcia del Huerto, a Portuguese doctor, described an epidemic of cholera in the port of Goa, which had been recently colonized by the Portuguese [8]. In the seventeenth and eighteenth centuries, cholera confined itself to Asia. The first pandemic appeared in 1817. It began during the celebration of Kumbha, which is a traditional celebration held in the state of Uttar Pradesh, in the north of India. These celebrations, attended by pilgrims from all over India, lasted for 3 months. The disease, probably carried by pilgrims from the estuary of the Ganges, was transmitted during the festivities and as the pilgrims returned to their homes, was spread throughout the entire subcontinent. The pandemic lasted until 1824 and spread eastward to China and the Philippines, southward to Madagascar, and westward to Iran and Turkey [54]. Troop movements played a major role in spreading the disease, particularly in India, Nepal, Iran, and Turkey; shipping commerce and pilgrimages to Mecca also helped. Western Europe was spared from this first pandemic, but not for long.

In 1829, the second pandemic broke out. It began in somewhat the same manner as the first, starting from the environmental reservoirs on the Bay of Bengal, but it spread even more quickly, and this time westward to the large Western cities. The wave hit England in 1831. On October 26th, the first patient died of cholera. But no one wanted to declare it. The political authorities, influenced by merchants and textile industry owners, refused to take any quarantine measures. For governmental authorities, cholera did not exist in England. Attempts to take measures to combat cholera were of course great hindered. And yet, never before had large Western cities, in particular London, been so vulnerable to waterborne diseases. It was the advent of the Industrial Era and the lack of work in the English countryside brought a great many of the rural population to the cities. Whole families moved to urban centers, living 8–10 in one room. By the mid-nineteenth century, the population of London had grown to 2.5 million. To reduce costs and to increase profits, landlords had buildings constructed that had no potable water supply system and no sewage system. Latrines were on the ground floor and those living on the upper floors frequently emptied the contents of their chamber pots from the windows into the street. Sewage was evacuated in open drains and gutters. With strong rains, the gutters overflowed and the water flooded houses and market places. Rivers, and particularly the Thames, which served as one of the sources of drinking water for the city's inhabitants, were thus directly contaminated by the city's sewage. After London, many other cities were affected and cholera spread over the whole of Europe, along the coast of the Mediterranean and, for the first time, to the most industrialized areas of America. Cholera arrived in France as late as Spring 1932. Officials and

doctors had time to plan strategies. In June 1931, a law on health checks at the borders was reactivated. In spite of these measures (let us remember that during an epidemic, many carriers of the germ are asymptomatic), cholera invaded France and ravaged the country as it did the rest of Europe. The number of deaths was estimated at 100,000, with 20,000 in Paris, which had a population of 800,000 at the time. The same causes produced the same effects: The state of hygiene in Paris was hardly better than that in London. The water in the fountains came from open-air reservoirs and from unguarded canals and rivers, which were used for shipping as well; the water in the wells came from a water table, which was only a few meters down and easily contaminated. Like London and the Thames, many Parisians got their drinking water directly from the Seine. Cholera spread also to the Americas, starting in the main East Coast ports of the United States. In New York, some doctors admitted that cholera had reached epidemic proportions, but many more, along with a certain John Pintard, contested this. Mr. Pintard, an influential banker, asked the doctors if they "*had the least idea what an announcement like that would do to business in the city?*" Thus, as in London some years before, the presence of cholera was denied. This position is worth noting because it is one very often taken by political authorities when they are confronted with the presence of cholera in their bailiwicks. From New York and other East Coast ports, cholera began to spread from city to city. Quarantines were often instituted, but these were unsuccessful because travelers managed to enter "clean" cities despite efforts of the militia who were given the power to stop all travelers at the borders. In New York, cholera put an end to social life. Visitors were struck by the silence and unaccustomed cleanliness of the streets. Even on Broadway, passersby became such a rarity that a passing horseman became a curiosity. Tufts of grass began growing in the streets. It is interesting to note that the same disintegration of social life occurred in Philadelphia during the Spanish Flu epidemic in 1918.

In these times, the fight against cholera was rendered all the more difficult because the cause of the disease was unknown. Neither the make up of the agent responsible nor its links with water had been identified. Most doctors thought the disease was caused by inhalation of vapors or miasma. This belief only served to deepen the fears of the populace affected by the epidemic: They could not stop breathing so as not to be contaminated! The links between cholera and water were discovered only during the third pandemic which began in 1841 and whose course was almost the same as the previous one. In 1849, a London doctor named John Snow published a theory in which water was identified as the vector of cholera [54]. He explained that the disease could not be transmitted by air because the lungs were not affected by the disease. But his theory was either ignored or attacked by many doctors. It was not until the second epidemic wave of the pandemic reached London again that John Snow could demonstrate the solid basis of his theory. He plotted the cholera deaths on a map and found that

they were concentrated in specific sections of the city. He then plotted what groups used which water sources and observed that the risk of death from cholera was much greater for the group which used the Broad Street pump than for those groups using other pumps. He informed the municipal authorities about his discovery. The pump in question was sealed off and the number of cholera cases began to fall rapidly (actually, according to a recent publication, the death rate had already begun to fall before the pump was sealed off) [48]. At that time, two companies supplied water to the neighborhood. One provided water that was relatively clean, but the other obtained its water downstream from the first, using water contaminated by the city drains. Since 1852, water companies had been required to filter their water before distributing it. A company engineer, however, admitted that the water was pumped directly from the Thames and distributed forthwith. In 1854, the wave of cholera killed 4500 people in that section of London.

The bacterium responsible for cholera was finally discovered by Robert Koch in 1884 during the fourth pandemic wave [38]. It was called *Vibrio comma*, because of its curved, comma-like shape. However, many years passed before Koch's work was accepted and validated by the international scientific community and before the idea that diseases could be transmitted by water was totally accepted by Western countries. At that point, the bacterium's name was changed to *V. cholerae*. Also, from the second half of the nineteenth century and on, there was considerable improvement in hygiene in large Western cities. Drains were improved, potable water supplies were made safer, and as of the beginning of the twentieth century, cholera was no longer a threat to industrialized countries. This is why the sixth pandemic, which began in 1899, did not reach a good part of Western Europe or North America. With the improvement in hygiene in the large cities, the features of cholera began to change; the target was no longer industrialized countries but rather those countries that were less developed. For about 100 years, the disease took advantage of the time lag between, on the one hand, the increase in commerce, the increase and improvement in land and sea transport and the developing international relations, and on the other hand, the poverty of the working classes, coupled with the overall ignorance and neglect of the medical and political authorities. The seventh pandemic, present for over 40 years, shows a very different geographical distribution, but has kept the same characteristics (described above), which caused the previous six.

The seventh pandemic began in the Sulawesi Archipelago in Indonesia. It was caused by the El Tor biotype, isolated in 1905 in pilgrims who died from cholera at a quarantine station located near El Tor in the Sinai Peninsula. In 1961, the epidemic invaded the archipelago and by the early 70s had passed along the Mediterranean and reached Southern Europe (Spain, Portugal, and Italy). It then invaded Black Africa, which had been spared for about a century. It hit Guinea first: Cholera was carried in by an

airplane. According to some reports, the plane came from Russia, and according to others, from Egypt or Mecca [29, 40]. In any case, while Guinea is recognized as cholera's point of departure for the invasion of West Africa, there were very few reports published about an outbreak of cholera in Conakry in July and August 1970. It would appear that the diagnosis was made rather quickly, but political authorities took exactly the same stance as their European counterparts in the nineteenth century, that is, they preferred to keep news of the epidemic under wraps as long as possible. Between August and December, cholera spread down a coastal band from Guinea to Nigeria. At this point, it could no longer be denied that cholera had arrived in Black Africa, but it was too late to stop the invasion. And it was now going into the Sahel. Already, in November, it had reached the city of Mopti (Mali), located on the interior delta of the Niger River. Given the conjunction at Mopti of a network of dirtied surface waterways, of a large regional fair, and of the passage of a number of nomads, moving their herds to winter pastures, cholera prospered in the city and then spread throughout all of the Sahel [40]. In a few months, it had reached Senegal, Mauritania to the west and Chad to the east. Guinea was not, however, the African place of entry for cholera during the last three decades of the twentieth century; several distinct strains from the Asian reservoir have been revealed by molecular typing of isolates collected in Africa [18, 39]. In epidemic to epidemic, cholera crossed all of Africa, moving from one place to the next or metastasizing across considerable distances thanks to rapid transport. Pilgrimages, especially the one to Mecca, helped in the spread of the pandemic. African epidemics of the last few decades have often been spread because of armed conflict, which often has become chronic. These conflicts disturb the organization of care facilities, hinder the development of sanitation systems, and when a crisis flares up, thousands of people are forced to take to the road and end up packed into camps where, assisted by proximity, the risk for an epidemic becomes extremely high. The cholera epidemic in the Goma refugee camps in 1994 are an example of this. These camps were set up after the Rwandan genocide, one of the most terrible catastrophes of the twentieth century. Nearly a million Tutsis (as well as moderate Hutus) were massacred. The fragility of the refugees and the lack of preparation time for setting up facilities (water, latrines, shelter ...) were some of the factors, which triggered a cholera epidemic, which was so massive that its consequences, in terms of mortality and morbidity, defied measurement. Immense camps were set up hastily, but the influx of people was so great (about a million refugees) that preventive measures against an epidemic (construction of latrines, stocking potable water) could not be put in place in time. The quantity of drinking water distributed during the first few weeks of setting up the camps was 0.2 L of water per person per day [1]. The absolute minimum should have been 5 L. The water sources available to the refugees, who had to drink (it was impossible not to),



Fig. 37.2. Watering place near a refugee camp in the Goma area in 1994. On the right is an area for defecation. In the middle, people are bathing and on the left, others are washing dishes or clothes. These are optimal transmission conditions for cholera.

were very quickly and massively contaminated (Fig. 37.2). The epidemic that followed took tens of thousands of victims in just a few weeks. The victims' bodies were left at the sides of the roads, wrapped in their mats or pagnes. The same lightning-like clinical signs as described in nineteenth-century Europe appeared, causing the sudden deaths of some of the people.

Conflicts, however, were not essential for its survival; cholera continued on its path, often passing again through places it had been in several years before. In 2003, Mopti was hit again and as in 1970, the epidemic followed the course of the Niger River, spreading into Niger and then, the following year, into Chad. And as in 1970, contamination of water sources, and population movements, some connected with fishing and some with cattle-raising, helped spread the epidemic. Cholera is now considered endemic to Africa, but the term "endemic" is, here, fairly ambiguous. On a continental scale, cholera is certainly present permanently, but on a smaller scale, there are successions of epidemics, interrupted by periods of calm during which cholera disappears completely. Ecologists now speak of meta-endemic, where the pathogenic agents circulate throughout a large area in waves of successive epidemics. In some coastal regions, however, it is possible that *V. cholerae* O1 El Tor, temporarily or definitively, has found an environmental refuge in the lagoons and river estuaries. But whether or not it has found a perennial environmental reservoir, *V. cholerae* O1 El Tor, baptized in the Sinai and raised in Indonesia, is now African by adoption. Of course, it is still present in some Asian countries and in the early 90s invaded a considerable part of Latin America, leaving more than one million cases during its decade-long stay [2]; then, it disappeared. However, it is Africa that is far and away the most

affected. In 2003, only 26 cases were recorded in Latin America, 3463 in Asia and 108,067 in Africa [5]. Even though we know that all the cases were not reported, it is obvious that large-scale epidemics have not taken place in Asia or in the Americas. And one final note: *V. cholerae* O1 El Tor is no longer the sole cause of epidemics. Another *V. cholerae* has now appeared, and it comes from the Bay of Bengal. Its name is *V. cholerae* O139 and is also known as the Bengal strain. It has been rampant in South Asia since 1992, but has been rarely isolated in other continents. It is, however, just as contagious as *V. cholerae* O1 and could one day be the cause of the eighth pandemic, especially because it can propagate in populations, which have been immunized against *V. cholerae* O1.

37.5 MAN, SOCIETY, AND CHOLERA AT THE BEGINNING OF THE TWENTY- FIRST CENTURY: OUR PERSONAL EXPERIENCE OF CHOLERA MANAGEMENT

In this, the beginning of the twenty-first century, cholera has not disappeared. It still exists in Asia, due to the emergence of new pathogenic strains from an environmental reservoir, but it is in Black Africa that it is most problematic. Now that this disease has been carefully studied and there are efficient ways of combating it, why and how can cholera continue to survive and even thrive? It is true that in Africa, and in Asia, there may be environmental reservoirs in certain coastal zones. However, their role has not been clearly defined and even if they do exist, this cannot explain why cholera is active in the very heart of the African continent, thousands of kilometers away from brackish water. To understand what is happening let us change scales and leave continents and countries to look more closely at small communities, and at the behavior of individuals and their beliefs about cholera. To do that, we will look at two examples of epidemics: one, which hit Grand Comoro in 1998, and the onset of one, which occurred in 2001 in Eastern Kasai (in the Democratic Republic of the Congo).

37.5.1 The Cholera Epidemic in Grand Comoro

Grand Comoro is the main island in the Comoros Archipelago. It is located midway between East Africa and Madagascar. The first cases were probably imported by plane from East Africa (where cholera was rife) toward the end of 1997. The epidemic first spread unnoticed during the month of January 1998 until two transferred patients in the hospital of Moroni, the capital city, died. This alerted the general public and the health authorities. As soon as the epidemic had been detected and the gravity of the problem had been recognized by the local authorities (this took several weeks), several strategies for combating the disease were activated. A committee was set up to coordinate these strategies; it was composed of staff from care centers, the health department, the Comorian Red Crescent, NGOs such as Médecins du Monde and Médecins sans Frontières, and health workers and representatives from

WHO and UNICEF. The main strategy used was the one usually recommended: Health care structures were reinforced and CTCs were created, free health care was made available for those suffering from diarrhea, and information and personal hygiene awareness campaigns were organized. As these procedures have already been presented, we will not elaborate any further on them; but we will describe certain initiatives taken which were less pertinent, but which were exactly what the public wanted to hear. Most of these kinds of initiatives go unnoticed by those who come from outside the country and its culture because they are rarely spoken of in front of foreigners, who would surely disapprove. However, if you pay careful attention, sometimes you can make surprising discoveries. One of these “discoveries” was made during an assessment mission carried out for Médecins du Monde during the first months of the epidemic. When we arrived in a village which had been hit particularly hard by the epidemic, we were surprised to learn that the village doctor had decreed that it was not cholera (once again the denial of the disease), but “cholerine” that was the culprit, “cholerine” being a disease causing diarrhea, but was not as dangerous as cholera. Since “cholerine” does not exist in medical terminology, a brand-new disease could be invented, whose symptoms could be made to fit with the preconceived ideas of what the people had about an epidemic and its causes. Flies, therefore, were the vectors and udders of the goats, which wandered through and around the villages, became the reservoir. The therapeutic strategy was adapted to the people’s expectations as well, and instead of distributing rehydration solutions (How could anything so banal cure anything?), antibiotics were distributed to anyone who passed within a radius of under 10 m of the sick person. Donor generosity equaled the originality of this therapy, because the antibiotics that were distributed were brought to the village by expatriate Comorians who had collected box upon box in France. Of course, as we know, antibiotics in this case are not only just ineffective (especially given that the strain was resistant to the antibiotics distributed) but also dangerous. It is interesting to note that the framework within which the disease was placed is a modern one (the notion of hygiene was linked with flies and animals wandering in the villages; Western therapy was used) and not one based on magic (sorcery, evil spirits). This can be explained by the influence of expatriate Comorians, many of whom leave the islands to work in France and return to their country for vacation and retirement. This argument had a greater impact, for how much weight could the villagers accord to the theories of their doctor and to those of the foreign volunteers who talked about the strange notion of “microbes,” which are some kind of little invisible animals, which give you a disease if you do not wash your hands.

Besides the example mentioned above, the health committee discussed several ways to avoid transmission of the disease, but very few were selected. There are not many sources of drinking water in Grand Comoro. There are no rivers (water seeps down into the volcanic soil), some coastal villages have wells, but these are very few and far between; only those who lived in the area of Moroni, the capital, had



Fig. 37.3. “Marigot” or “piscine” on Grand Comoro. These watering places are at sea level; they are the main sources of water for the inhabitants of the surrounding villages. They are used for taking baths and washing dishes and can be easily contaminated. During the cholera epidemic on Grand Comoro, the inhabitants of the villages located near these “piscines” were very hard hit (in some villages, more than 10% of the population had to be hospitalized).

access to piped chlorinated water. The only other sources are watering places located close to the sea, called “piscines” or “marigots” by the Comorians (Fig. 37.3). The weight of the incoming tide on the underground water level fills them up. The water is more or less brackish and it is used for washing clothes, dishes, for washing oneself, and, once night has fallen, it is sometimes used for relieving one’s self.

On the rest of the island, especially in rural, inland areas, cisterns collecting rainwater from the roofs are the only available sources of water. There are many of these (about one for every 10 inhabitants), but they can provide only a few liters of water per day per person. The cisterns can be contaminated easily, especially during the dry season, when several families take water from those, which still have some water. As we could not increase the supplies of drinking water in the villages and city sectors affected by the epidemic, we tried to improve the quality of the water available. When several patients from the same village or city sector were admitted to a CTC, a team from one of the hygiene committees specifically created for the epidemic would go to the place in question to try to find the sources of contamination. If a cistern was suspected of being contaminated (*V. cholerae* can survive in fresh water), it was decontaminated with chlorine. If the patients had used water from a collective water source, such as a “piscine,” it was banned. This ban could not be enforced for a long time because of the scarcity of water on Grand Comoro. And lastly, so that uncontaminated water could remain that way, information campaigns were launched in which the people were told to treat their water at home by boiling or by chlorinating. As already discussed, latrines are often built to reduce environmental contamination. This measure was not carried out on

Comoro, even though most households do not have a latrine because the soil is volcanic and it is hard to dig into.

Besides transmission by water supplies and direct contact with the sick, there are social traditions, which can facilitate the transmission of cholera. Funeral rites, for example, played a particularly pernicious role in the spread of the first cholera epidemic, which occurred on Grand Comoro in 1975 [30]. In preparing the body of the deceased, the intestines are emptied by pressing on the abdomen. No particular precaution are taken for this, and it is done just before the meal is made which is consumed by the many funeral guests. This procedure also caused several outbreaks during the 1998 epidemic. We discussed this with the imams and it was agreed that specialized teams would take the place of the families in preparing the bodies for burial. Once they were created, the teams were trained and provided with the necessary materials. We have already seen how festivities in general, and communal meals in particular, have helped produce outbreaks of cholera throughout its history. In Comoro, communal meals frequently occur and they are part of the required stages for ritual ceremonies such as the “Grand Mariage,” or “Anda.” The Grand Mariage is the most important event in Grand Comorian society. It is the last step up the social ladder to the prestigious position of Notable; the honor of the family is assured. The *kombe*, the *badri*, the *zindru*, the *mbe zakaramu*, and the *tuarabu*, spaced out over the years, are the main stages of this elaborate and ostentatious ceremony that includes feast processions, and ceremonies with chanting and dancing. The feasts, with several hundreds of guests in attendance, generally include salads, meat, fowl, and fish with rice or manioc, curdled milk, honey, fruit, and fruit juice or soda. During cholera epidemic, this type of festivity should be forbidden but to forbid a Grand Mariage means destroying accession to the Nobility. It is at least worth trying to delay the ceremony or change the menu (eliminating the raw vegetables and curdled milk, which are easily contaminated by *V. cholerae*). As with the funeral rites, sometimes adjustments in customs can be negotiated, but the customs per se must be left intact.

Taken one at a time, solutions to problems such as those described above can generally be found. However, in the field problems and obstacles can follow one after the other, and combined, can bring an antiepidemic strategy to its knees. An illustration of this occurred during the outbreak of cholera in the south of Grand Comoro. Up until early March, 1998 while cholera was running rampant some 50 km away, southern Grand Comoro had remained relatively untouched: A few sporadic cases had been reported and the hygiene committee had immediately taken action. Early in the month, a Grand Mariage feast was scheduled in Ouroveni, a small fishing village in the south of the island. Several hours before the feast was to begin, a cook was admitted for cholera to the Foubouni hospital, located 10 km away from Ouroveni. She had come to help to prepare a Grand Mariage and lived in the north of the island in a place seriously affected by the epidemic. A male nurse with Médecins du Monde was immediately dispatched to Ouroveni, where he tried to inform the

people; he also requested that the feast be postponed. Unfortunately, not only were the stakes too high, given the importance of the ceremony, but the food was all ready. In the next few days about 10 serious cases were hospitalized, but many other patients who were not as severely infected, stayed in the village. There was a public well in Ouroveni, which had no protecting lip (Fig. 37.4). It could not be sealed off because it was the main source of water for the whole village. The water could not be treated in the well itself because, due to the porous nature of the lava rock, the well filled up and emptied each time the tide changed. Chlorine bleach was distributed and sensitization sessions were held during which instructions were given for treating the water or for boiling it before drinking. However, possibly because we had tried to get the Grand Mariage feast postponed, we received a cold reception. One morning, a sick person who had not been hospitalized contaminated the well. The well was used all that day, and that night the first cases arrived at the Foubouni hospital. In 3 days, more than 100 people were hospitalized (Fig. 37.5). Most of them were women because they are the water-carriers, and because it was hot and the well is a good distance away, they drank some on the return trip. There were two deaths, one of whom was an adolescent, and in the next few days, the people's attitude changed radically. Ouroveni became a model for mobilization against cholera and its hygiene committee became the most highly motivated and



Fig. 37.4. Well in Ouroveni. This easily dirtied well is the main source of drinking water for the village of Ouroveni on Grand Comoro. In March 1998, it was contaminated by a cholera patient, causing the infection of more than 100 inhabitants of the village; they were hospitalized in the Foubouni hospital, 10 km away.



Fig. 37.5. Foubouni Hospital. The outbreak in Ouroveni was so sudden that it was impossible to set up a CTC in time to deal with the influx of patients; they had to be put in any available place in the hospital (here, in the laboratory).

the most active one in the Comoro Islands. But for southern Grand Comoro it was too late: After Ouroveni, other foci appeared and because they were overwhelmed by the influx of sick people, the medical teams had to drop the information and village community education sessions temporarily.

The epidemic hit the whole island, and caused the hospitalization of a total of 8000 people, 82 of whom died, and it was not until the Spring of 1999, that is, more than a year after the beginning of the epidemic, that cholera was brought under control. In the meantime, it had moved to the neighboring island of Anjouan and then on to Madagascar, where it was responsible for hundreds of additional deaths. In the survey we did in 1999, we found that almost all of the people now knew about the mode of contamination and the clinical signs of cholera. However, families had not changed their habits regarding drinking water and hygiene. We think that this is because our sensitization program proposed no alternatives to their old habits. Particularly, messages about washing more could not have much effect when there is a lack of water. No vaccination campaign was attempted in Grand Comoro. The only one carried out was on Mayotte, the one island in the archipelago, which has remained a French territory and where living conditions are better. There was no epidemic on Mayotte, but there is no proof that that was due to the vaccine.

37.5.2 Cholera Epidemic in Kasai

The recent cholera epidemic in the province of Eastern Kasai serves as an illustration of the countless problems associated with the ideas patients have about cholera as well as those problems resulting from the attitude of actors involved in the fight against cholera. It also illustrates how the behavior of a few people can sometimes help spread an epidemic. Despite its proximity to the province of Katanga (where cholera has firmly established itself), Eastern Kasai had never officially had a case of cholera. Two trains connect Lubumbashi, the

capital of Katanga, and Eastern Kasai; the railway is Kasai's lifeline. At the end of August 2002, what had been a threat of cholera became a reality. Western Katanga and the city of Lubumbashi were prey to a large-scale epidemic. The first cases were reported on September 21st in a village about 60 km northeast of Mbuji Mayi. One was a 35-year-old woman who had returned by train from Katanga several days before; she died very quickly because of profuse diarrhea accompanied by vomiting. The next day, her husband died, suffering from the same symptoms. Because no one had ever seen a case of cholera in Kasai, and these two deaths were so sudden and unexpected, the family was convinced it was a case of sorcery. A ritual was organized to identify the witch, and all the members of the families were required to attend. Actually, no demand was necessary: Everyone made haste to come to demonstrate their innocence. The ritual took place on September 23rd in Mbuji Mayi: Each person had to drink some of the water in which the clothing of the deceased had been soaking. Of the seven people who participated, five died and the other two survived thanks to the care administered at the local hospital. Funeral ceremonies for the deceased included feasts of rejoicing: The ritual was a success because the witches had been identified and were now dead. The extended family, friends and acquaintances attended all the elaborate ceremonies, and this of course helped spread the epidemic throughout the city of Mbuji Mayi. Day after day, new cases of cholera were reported and admitted to the hospitals in and around Mbuji Mayi; they were unprepared for this new disease. Besides the suspicion of sorcery, other kinds of behavior helped propagate the disease in Eastern Kasai. The outright denial of the existence of the disease was one of them. In Mbuji Mayi, there are a number of communities belonging to a sect hostile to most forms of modern life. Several members died of cholera because they were hidden in one of the sect's churches where a guru chanted over them. Only after the death of one of the gurus' wives, followed by his own, could the members of the sect be persuaded to go to a CTC.

Just as in the Comoro Islands, plans to improve the sanitation of Mbuji Mayi were discussed. However, even though everyone seemed to be convinced that improvement measures needed to be maintained from beginning to end of the crisis, in the field no one carried this out. The link between cholera and the water supply had been made obvious: In Malemba Nkulu (Katanga, September 2002) and in Mbuji Mayi (April 2004), fresh outbreaks of cholera were observed one week after the potable water supply was cut off. Unfortunately, in Mbuji Mayi, during the 2-year period when serious outbreaks were intermittent, no measures were taken to improve access to potable water. Chlorination of the drinking water containers for each house in the sectors where cases had been reported was instituted only in April 2004. A map of the sectors with reported cases was made with the collaboration of teams from the national Red Cross, who had a lot of volunteer staff in the city. The volunteers were paired and each pair

was assigned one section of the city. Their job was to go to each household in the block and chlorinate each drinking water container. This was repeated steadily and the result was a sudden, significant decline in new cases of cholera. However, this outbreak had been so quickly (perhaps too quickly) throttled that it was treated as a false alarm by those who lived far away from Mbuji Mayi, and there was questioning as to whether or not there really were cholera cases. And just as in the Comoro Islands, plans that people use latrines were discussed and then abandoned, but in Mbuji Mayi, the nonconstruction of latrines was not connected with digging problems or with the lack of funds. It was connected with the wealth in the *soil*. A latrine dug in Mbuji Mayi means possibly one less diamond mine, because a good part of the city is located in a diamantiferous zone. For the inhabitants, building latrines means an imagined loss evaluated at hundreds of thousands of dollars. Sensitization campaigns were designed to ask the people to avoid at risk behavior. However, changes in behavior are difficult to achieve and the changes do not occur overnight. Results, in terms of a decrease in incidence of the disease, were slow in coming. Sensitization messages such as "Wash your hands often and heat up your food" were quickly reduced to simple slogans and had practically no influence on behavior.

Kasai also provides an illustration of how patient care procedures can cause people to delay their hospitalization so as to avoid humiliation and social disgrace. In general, the CTCs which were set up in Kasai had three sections: One for monitoring benign cases and diagnosing cases, one for the treatment of moderately dehydrated cases and one for severe cases. People were separated based on the severity of cases but not based on sex. Both men and women, therefore, were placed in the same room if they presented with the same clinical signs and the same degree of severity (Fig. 37.6). For the sick, going to a CTC meant "*saving your life and in exchange you lose your right to privacy and therefore your honor*." In Kasai, as in many African communities, an invasion of the privacy of a person is also an attack on personal honor, especially if the person is an "Old One." Taboos connected with nudity are such that, when men, women, and children are placed in the same room, one beside the other, almost naked, on a perforated mattress where each one must "do everything," they experience extreme humiliation. In Mbuji Mayi, a tribal chief who was sick from cholera refused to go to a CTC until the Congolese CTC workers agreed to build him a shelter next to the CTC. Not all the patients had a chief's position of power, and most of the time, in despair, they had to accept a therapy that saved their lives but completely humiliated them at the same time. This explains why, in areas that have experienced it, cholera can be called "the discourteous disease." Dishonor persists after the cure, stigmatizing the patients who stayed in a CTC. For many, their entourage will consider them contagious and they can remain outcasts for a long time. Some are called "the entrance to misfortune," and will always be suspect because,



Fig. 37.6. Center for the treatment of cholera in Kasai. Note that both men (on the right) and women (on the left) are hospitalized in the same tent. Just a pagne covers their nude bodies.

according to local beliefs, “*you don’t get a disease like that for no reason.*”

It is interesting to note that despite the fact that the NGO teams were composed of Africans and Europeans, questions about cultural differences and behavior and their related potential problems had never come up: Medical techniques were the only criteria used when setting up the care system in Kasai. Actually there was such an imbalance in the decision-making power of the local staff and the expatriate volunteers within the humanitarian organizations that some expatriates began to lord it over the others, dictating everything and rejecting anything that contradicted what they had said. Sometimes the same problem arose in the coordination of the medical teams. When there was no good coordination, members of each side chose what to do on their own, proposing policies and strategies that were completely contradictory to the others. Each side developed and reported their own statistics, which led to terminologies such as “MSF data,” “WHO data,” and “Ministry of Health data.”

Coordination problems are so difficult to solve because those involved do not have the same objectives. The local personnel, health authorities, expatriate volunteers, and experts from the United Nations: None of these groups see a cholera epidemic in the same way. For the local personnel, whether they are government employees or not, a cholera epidemic may sometimes be seen as a windfall because it brings in agencies from outside and means bonuses worth 10 times more than their regular salary. Thus, in Malemba Nkulu (Katanga) a CTC nurse was heard to say, “*I hope this epidemic goes on until I finish building my house.*” It is therefore tempting to make projects last as long as possible by, for example, overestimating the number of cases, falsifying data or using an exaggerated definition of sensitivity for cases. In Mbuji Mayi, some health workers managed to buy themselves motorcycles (the prices ranged from \$1000 to \$2500) by selling packets of Ringer lactate at exorbitant prices (\$25–\$50). At the political level, the outbreak of an epidemic can also be used to get even with a

civil servant or get rid of a no-longer-wanted NGO. Thus, once its existence is recognized in a given area, the response to cholera is ambiguous, starting at the bottom rung of the public health ladder and going up to the ministerial level.

37.5.3 Cholera, Media, and Humanitarian Agencies

Does the same phenomenon exist for international NGOs? It is not our intent to insult the courage and sacrifice of all the humanitarian volunteers by saying that they would personally benefit from a cholera epidemic by wishing it would continue longer. For the most part, volunteers are paid at a much lower rate than if they stayed home and worked in their own countries. However, if we look at the situation from the point of view of humanitarian agencies, we must admit that an outbreak, particularly when it is a cholera epidemic, can be useful for mobilizing public opinion. For Western society, cholera no longer generates the irrational fear that it did during the nineteenth century. Yes, it is still a scourge, but everyone is now convinced that it cannot happen to us now; it happens only to the “other people,” the “other people” being those who live in those faraway places called “developing countries.” After terrorizing the industrialized countries, cholera has now become the symbol of the world’s misery and thus a tool for mobilizing public compassion. And at this level, it is not so much whether the methods for combating the epidemic are efficient or not, but how to respond to the expectations of the donor. The donors themselves, who are affected more by the dramatic urgency of the request than by the complex meanderings of development, first lend their support to life-saving acts in which “French doctors,” thanks to their perfusions, save thousands of men’s, women’s, and even better, children’s, lives. There is, therefore, the phenomenon of a, in the main, satisfying support of patients who are victims of an epidemic outbreak, linked with a lack of interest for anything that is not spectacular. The instability of public pressure forces early demobilization of action after a few weeks and the epidemic then switches to a chronic phase. It is as if firefighters, in the case of forest fires, first intervene only in cases of large-scale fires and second, withdraw soon afterward, leaving the area still smoking, with a real potential for starting new fires. In the Comoro Islands and in Kasai, the demobilization of the actors from outside always came too soon. Finances dried up and the people and their leaders lost interest in a disease that they were gradually getting used to living with. When the basic elements of the fight depend on voluntarism and volunteers, there can be no hope for the sustained, costly, and tiring action necessary to get the epidemic completely under control. This inconsistency is illustrated yet again when we look at some recent events. The fear that is induced by reports of cholera epidemics (whether or not there is actually a risk) produces a significant surge in public generosity. This happens after natural catastrophes (earthquakes, volcano eruptions, and tsunamis, all of which come under the heading of geophysical catastrophes). The level of generosity increases especially when there

is a high number of sudden deaths. The risk of a cholera epidemic was evoked after the earthquake in Bam in December 2003, and then again 1 year later when the tsunami in the Indian Ocean occurred [46, 57]. The media took up the chorus of the alarmist forecasts of a few experts who predicted tens of thousands of deaths because of epidemics, with cholera at the top of the list. In fact, not one case of cholera was identified after the tsunami, nor was there one after the earthquake in Bam. When the medical reports and articles on the geophysical catastrophes from the last 20 years were researched in detail, and when the available databanks on epidemics were reviewed, it is clear that no cholera epidemic broke out under these conditions. It would appear that the risk of an epidemic following a natural catastrophe is practically zero [20]. Out of the 600 geophysical catastrophes, which were identified over the last 20 years, only one was reported. It was a measles epidemic, which broke out in a displaced persons camp, which was created following a volcanic eruption in the Philippines [44]. In the end, it is not whether a cholera epidemic has actually been identified, but that the risk of one, whether real or imagined, should be announced to the public. All of this would be of little importance if cholera were not the main target. Indeed, all this mediatization about cholera epidemics, which never occur is nothing but a decoy, and the resources engaged to fight cholera where it is not a threat are not used to fight it where it is present or a real threat.

37.6. CONCLUSION

As the short tale demonstrated in the introduction of this chapter, cholera is not just an infectious disease caused by a microbe, which is pathogenic for humans: It, like the plague, has played a role in the history of mankind. What gives cholera its power is neither contagiousness (it is not as contagious as the flu), nor virulence (most patients are asymptomatic). No, its power and its continued existence despite technical progress are due to its ability to take advantage of the inconsistencies in modern human society. The ignorance of the masses and the obscurantism, which surrounds it, understandable in the nineteenth century when its causes were unknown, are still today the prime movers of its continued existence. Witness the conjuring practices (as in Kasai) and the fanciful explanations (as in the Comoro Islands). The greed of the most powerfully placed and the lowliest open the way for cholera, forcing the poorest to stay in slums, making public health measures difficult to carry out by delaying the declaration of an epidemic as long as possible. The increase in power of generous and well-informed humanitarian organizations should have brought the deathblow to this scourge and confined it to a few lagoon areas where it could be carefully monitored. Cholera has escaped, aided by the mediatization of selected events, which has an increasingly perverse control over the financial manna, which comes from the viewing public. Cholera presents with varying aspects, which are sometimes contradictory and, which allow it to have the success it

has today. It is a microbe which originated in a singular coastal biotope and yet can invade cities which are thousands of kilometers from the sea; it is a fear-ridden disease for patients and yet can be a blessing for the staff of forsaken health centers in the heart of Africa; it is a disease linked to both commerce and war. Even though it has never been reported after earthquakes or tsunamis, the general public and politicians believe it to be a usual complication of natural catastrophes. In the end, our powerlessness before this scourge is perhaps not a question of lack of funds and equipment: The disease is vulnerable and some epidemics have been brought under control with fairly limited means. Our powerlessness is more likely linked to the lag between the perceptions of the actors involved in the fight: from the nurse in a dispensary in the African bush to the general public and the policy makers of the West, including the scientists, the NGO volunteers, the civil servants and the media. All these points of view must be integrated into an interdisciplinary approach: something, which is cruelly lacking today. The problem raised here is not specific to cholera. The ideas presented throughout this encyclopedia embody a movement toward this interdisciplinary approach. Would that these ideas lead, in the interest of the patients, to many others.

Very simplified classification of the main bacteria in human and veterinary medicine

Bacilli

Gram negative

Enterobacteriaceae *Escherichia*, *Shigella*, *Salmonella* (including *S. typhi* causing typhoid fever), *Proteus*, *Yersinia* (including *Y. pestis* causing plague), *Enterobacter*, *Serratia*

Non Enterobacteriaceae *Vibrio* (including cholera-causing *V. cholerae*), *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Campylobacter*, *Helicobacter*, *Bordetella* (including *B. pertussis* which causes whooping cough), *Haemophilus*, *Legionella*

Gram positive

Listeria, *Corynebacterium*, *Clostridium*

Cocci

Gram negative

Neisseria (including *N. meningitidis* causing meningitis), *Branhamella*

Gram positive

Packets of cells seen on Gram stain

Staphylococcus

Pairs or chains of cells on Gram stain

Streptococcus

Other bacteria

Small intracellular bacteria *Chlamydia*, *Rickettsia*

Spiral organisms *Treponema* (including *T. pallidum* which causes syphilis), *Borrelia*

Small pleomorphic without rigid wall

Mycoplasma

Acid-alcohol fast bacillus (using Ziehl-Neelsen stain)

Mycobacterium (including *M. tuberculosis* and *M. bovis* which causes tuberculosis, and *M. leprae* which causes leprosy)

REFERENCES

1. Anonymous. Cholera in Goma, July 1994. *Bioforce. Rev Epidemiol Sante Publique* 1996;44:358–63.
2. Anonymous. Cholera in the Americas. *Epidemiol Bull* 1995;16:11–2.
3. Anonymous. *Cholera Outbreak: Assessing the Outbreak Response and Improving Preparedness*, World Health Organization/Global Task Force on Cholera Control, 2004.
4. Anonymous. Cholera, 2002. *Wkly Epidemiol Rec* 2003;78:269–76.
5. Anonymous. Cholera, 2003. *Can Commun Dis Rep* 2004;30:154–6.
6. Anonymous. *Detection and Control of an Epidemic Cholera: Technical Guidelines*, Centers for Diseases Control and Prevention, Atlanta GA, 1995.
7. Anonymous. El Nino and its impact on health. *Epidemiol Bull* 1998;19:9–13.
8. Barua D, Burrows W. *Cholera*, WB Saunders, Philadelphia, 1974.
9. Bhattacharya SK. An evaluation of current cholera treatment. *Expert Opin Pharmacother* 2003;4:141–6.
10. Bigot A. *Management of a Cholera Outbreak*. Médecins sans Frontières, Paris, 1995.
11. Borroto RJ. Ecology of *Vibrio cholerae* serogroup O1 in aquatic environments. *Rev Panam Salud Publica* 1997;1:3–8.
12. Calain P, Chaine JP, Johnson E, et al. Can oral cholera vaccination play a role in controlling a cholera outbreak? *Vaccine* 2004;22:2444–51.
13. Collins AE. Vulnerability to coastal cholera ecology. *Soc Sci Med* 2003;57:1397–407.
14. Colwell RR. Global climate and infectious disease: the cholera paradigm. *Science* 1996;274:2025–31.
15. Colwell RR. Infectious disease and environment: cholera as a paradigm for waterborne disease. *Int Microbiol* 2004;7:285–9.
16. Colwell RR. Viable but nonculturable bacteria: a survival strategy. *J Infect Chemother* 2000;6:121–5.
17. Crump JA, Bopp CA, Greene KD, et al. Toxigenic *Vibrio cholerae* serogroup O141-associated cholera-like diarrhea and bloodstream infection in the United States. *J Infect Dis* 2003;187:866–8.
18. Dalsgaard A, Forslund A, Sandvang D, Arntzen L, Keddy K. *Vibrio cholerae* O1 outbreak isolates in Mozambique and South Africa in 1998 are multiple-drug resistant, contain the SXT element and the aadA2 gene located on class 1 integrons. *J Antimicrob Chemother* 2001;48:827–38.
19. deLeeuw A. The three companions. *Indonesian Legends and Folktales*, Edinburgh, New York, 1961.
20. De VilledeGoyet C. Stop propagating disaster myths. *Lancet* 2000;356:762–4.
21. Dhar R, Badawi M, Qabazard Z, Albert MJ. *Vibrio cholerae* (non-O1, non-O139) sepsis in a child with Fanconi anemia. *Diagn Microbiol Infect Dis* 2004;50:287–9.
22. Farfan M, Minana-Galbis D, Fuste MC, Loren JG. Allelic diversity and population structure in *Vibrio cholerae* O139 Bengal based on nucleotide sequence analysis. *J Bacteriol* 2002;184:1304–13.
23. Farina C, Gnechi F, Luzzi I, Vailati F. *Vibrio cholerae* O2 as a cause of a skin lesion in a tourist returning from Tunisia. *J Travel Med* 2000;7:92–4.
24. Farina C, Luzzi I, Lorenzi N. *Vibrio cholerae* O2 sepsis in a patient with AIDS. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 1999;18:203–5.
25. Faruque SM, Albert MJ, Mekalanos JJ. Epidemiology, genetics, and ecology of toxigenic *Vibrio cholerae*. *Microbiol Mol Biol Rev* 1998;62:1301–14.
26. Faruque SM, Mekalanos JJ. Pathogenicity islands and phages in *Vibrio cholerae* evolution. *Trends Microbiol* 2003;11:505–10.
27. Faruque SM, Nair GB. Molecular ecology of toxigenic *Vibrio cholerae*. *Microbiol Immunol* 2002;46:59–66.
28. Faruque SM, Naser IB, Islam MJ, et al. Seasonal epidemics of cholera inversely correlate with the prevalence of environmental cholera phages. *Proc Natl Acad Sci USA* 2005;102:1702–7.
29. Felix H. Epidémie de choléra en Afrique. Note d'information sur l'évolution de la situation entre Août et Décembre 1970. *Presse Médicale* 1971;79:475–8.
30. Guidicelli C, Ollivier J, Bihan-Faou P. L'épidémie de choléra des Comores en 1975. *Médecine et Années* 1986;14:669–70.
31. Heath CH, Garrow SC, Golledge CL. Non-O1 *Vibrio cholerae*: a fatal cause of sepsis in northern Australia. *Med J Aust* 2001;174:480–1.
32. Jiang SC, Louis V, Choopun N, Sharma A, Huq A, Colwell RR. Genetic diversity of *Vibrio cholerae* in Chesapeake Bay determined by amplified fragment length polymorphism fingerprinting. *Appl Environ Microbiol* 2000;66:140–7.
33. Jiang SC, Matte M, Matte G, Huq A, Colwell RR. Genetic diversity of clinical and environmental isolates of *Vibrio cholerae* determined by amplified fragment length polymorphism fingerprinting. *Appl Environ Microbiol* 2000;66:148–53.
34. Kaper JB, Morris JG, Jr, Levine MM. Cholera. *Clin Microbiol Rev* 1995;8:48–86.
35. Karaolis DK, Johnson JA, Bailey CC, Boedeker EC, Kaper JB, Reeves PR. A *Vibrio cholerae* pathogenicity island associated with epidemic and pandemic strains. *Proc Natl Acad Sci USA* 1998;95:3134–9.
36. Karaolis DK, Somara S, Maneval DR, Jr, Johnson JA, Kaper JB. A bacteriophage encoding a pathogenicity island, a type-IV pilus and a phage receptor in cholera bacteria. *Nature* 1999;399:375–9.
37. Ko WC, Chuang YC, Huang GC, Hsu SY. Infections due to non-O1 *Vibrio cholerae* in southern Taiwan: predominance in cirrhotic patients. *Clin Infect Dis* 1998;27:774–80.
38. Koch R. An adress to cholera and its bacillus. *Br Med J* 1884;403–4.
39. Lan R, Reeves PR. Pandemic spread of cholera: genetic diversity and relationships within the seventh pandemic clone of *Vibrio cholerae* determined by amplified fragment length polymorphism. *J Clin Microbiol* 2002;40:172–81.
40. LeVigueloux J, Causse G. Réflexions sur l'épidémiologie du choléra en Afrique Occidentale. *Médecine Tropicale* 1971;31:677–84.
41. Lin CJ, Chiu CT, Lin DY, Sheen IS, Lien JM. Non-O1 *Vibrio cholerae* bacteremia in patients with cirrhosis: 5-yr experience from a single medical center. *Am J Gastroenterol* 1996;91:336–40.
42. Lobitz B, Beck L, Huq A, et al. Climate and infectious disease: use of remote sensing for detection of *Vibrio cholerae* by indirect measurement. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2000;97:1438–43.
43. Magnusson MR, Pegg SP. *Vibrio cholerae* non-O1 primary septicemia following a large thermal burn. *Burns* 1996;22:44–7.

44. Magpantay R, Abellanosa I, White M, Dayrit M. *Presented at the International Scientific Conference on Mt. Pinatubo*, Department of Foreign Affairs, Manila, Philippines, 1992.
45. Morris JG, Jr. Cholera and other types of vibriosis: a story of human pandemics and oysters on the half shell. *Clin Infect Dis* 2003;37:272–80.
46. Moszynski P. Disease threatens millions in wake of tsunami. *Br Med J* 2005;330:59.
47. Naidoo A, Patric K. Cholera: a continuous epidemic in Africa. *J R Soc Health* 2002;122:89–94.
48. Pharoah P. Catastrophic failures of public health. *Lancet* 2004;363:1552.
49. Ramamurthy T, Yamasaki S, Takeda Y, Nair GB. *Vibrio cholerae* O139 Bengal: odyssey of a fortuitous variant. *Microbes Infect* 2003;5:329–44.
50. Reeves PR, Lan R. Cholera in the 1990s. *Br Med Bull* 1998;54:611–23.
51. Sack DA, Sack RB, Nair GB, Siddique AK. Cholera. *Lancet* 2004;363:223–33.
52. Sack RB, Siddique AK, Longini IM, Jr, et al. A 4-year study of the epidemiology of *Vibrio cholerae* in four rural areas of Bangladesh. *J Infect Dis* 2003;187:96–101.
53. Shahinian ML, Passaro DJ, Swerdlow DL, Mintz ED, Rodriguez M, Parsonnel J. *Helicobacter pylori* and epidemic *Vibrio cholerae* O1 infection in Peru. *Lancet* 2000;355:377–8.
54. Snow J. *On the Mode of Communication of Cholera* (second ed.), London, 1855.
55. Tantillo GM, Fontanarosa M, Di Pinto A, Musti M. Updated perspectives on emerging vibrios associated with human infections. *Lett Appl Microbiol* 2004;39:117–26.
56. Waldor MK, Mekalanos JJ. Lysogenic conversion by a filamentous phage encoding cholera toxin. *Science* 1996;272:1910–4.
57. Zarocostas J. WHO praises Bam response but warns of disease. *Lancet* 2004;363:218.

Lakes as Source of Cholera Outbreaks, Democratic Republic of Congo

Didier Bompangue,*† Patrick Giraudoux,†
Pascal Handschumacher,‡ Martine Piarroux,†
Bertrand Sudre,† Mosiana Ekwanzala,§
Ilunga Kebela,* and Renaud Piarroux†

We studied the epidemiology of cholera in Katanga and Eastern Kasai, in the Democratic Republic of Congo, by compiling a database including all cases recorded from 2000 through 2005. Results show that lakes were the sources of outbreaks and demonstrate the inadequacy of the strategy used to combat cholera.

The association between *Vibrio cholerae* and aquatic environments has long been studied, but emphasis has been almost exclusively placed on coastal areas such as the Bay of Bengal, the point of origin of cholera. There, outbreaks are closely linked to estuarine areas, where environmental *V. cholerae* strains emerge and then spread in human communities during the monsoon season (1) by attaching themselves to surfaces provided by plants, algae, and zooplankton (2,3). Some recent studies have investigated environmental and climatic factors that may encourage the spread of cholera in African countries (4,5); these studies also focused on coastal areas. Except for 2 case-control studies performed in Burundi and Kenya (6,7), little is known about the epidemiology of cholera in inland areas of Africa. A recent article, based on the analysis of 632 reports of cholera outbreaks worldwide, has shown that 87.7% of cholera cases occurred in sub-Saharan Africa and that the highest concentration of outbreaks was in the eastern provinces of the Democratic Republic of Congo (DRC) (8). In this country, dozens of emergency programs have been implemented by humanitarian organizations, national health services, and international agencies; they have, however, failed to achieve long-term control of cholera epidemics. To search for environmental factors that could explain the recurrence of cholera outbreaks, we conducted an epidemiologic study in 2 inland provinces of the DRC severely hit by cholera.

The Study

From 2002 through 2005, reports of cholera cases and deaths from cholera were collected weekly from each health district of Katanga (497,076 km², 9,598,380 inhabitants) and Eastern Kasai (170,103 km², 6,713,009 inhabitants) with the help of local and national staff of the DRC Ministry of Health. The definition of a case-patient was “any person 5 years of age or older in whom severe dehydration develops or who dies from acute watery diarrhea”; the age limit was lowered to 2 years for cases associated with confirmed cholera outbreaks, as recommended by the World Health Organization (WHO) (9). Each new outbreak was confirmed by culture and identification of *V. cholera* O1 from 5 to 10 stool samples.

For 2000 and 2001, only cumulative data collected weekly in each province were available; no detailed database was kept. However, data were completed with information from reports of epidemic investigations and interventions (105 reports filed from 1999 through 2005) and the testimonies of medical teams interviewed during field visits. A geographic information system was established, based on the data collected from the 106 health districts of the 2 provinces. Six health districts were removed from statistical analysis because >10% of weekly reports were missing (Figure 1). Using regression techniques (see online Technical Appendix, available from www.cdc.gov/EID/content/14/5/798-Techapp.pdf), we statistically examined the relationship between the number of cholera cases in each health district and the following list of geographic and environmental variables: area; population; and presence/absence of cities of >100,000 inhabitants, of railway stations, of harbors, of major tracks or roads, and of lakes.

A total of 67,738 cases and 3,666 deaths (case-fatality rate 5.4%) were reported from 2000 through 2005 in Katanga and Eastern Kasai, which corresponded to 8.4% of

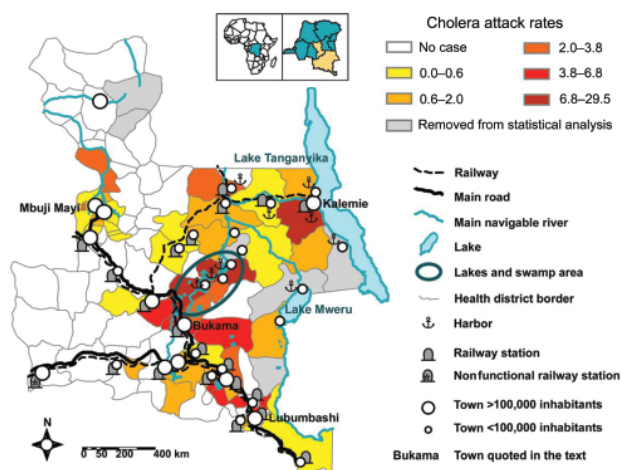


Figure 1. Katanga and Eastern Kasai, showing distribution of cholera attack rate from 2002 through 2005 and average attack rate of cholera per 10,000 inhabitants per health district.

*Health Ministry, Kinshasa, Democratic Republic of Congo; †Université de Franche-Comté, Besançon, France; ‡Institut de Recherche pour le Développement, Strasbourg, France; and §Organisation Mondiale de la Santé, Kinshasa, Democratic Republic of Congo

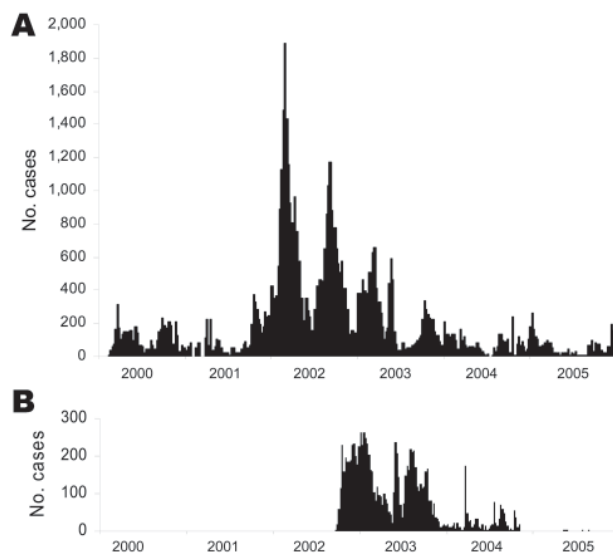


Figure 2. Weekly case incidence of cholera in Katanga (A) and Eastern Kasai (B) from 2000 through 2005.

cases and 19.6% of deaths worldwide recorded by WHO during the same period (10–15). Relatively calm periods were separated by episodes of exacerbation between 2001 and 2003 (Figure 2). In 2000, epidemics were reported only in the areas of Lake Tanganyika and Lake Mweru (on the eastern border of Katanga). Only a brief outbreak (752 cases) was reported in Lubumbashi, the capital of Katanga, located in the south. The first exacerbation began in the middle of 2001, when thousands of civilians, trying to escape civil war, fled from Kalemie (bordering Lake Tanganyika). From May to December 2001, cholera outbreaks were reported in various cities of Katanga, including Bukama (center of Katanga) and Lubumbashi. From Bukama, outbreaks spread to the lakes north of the city. A peak was reached in March 2002, followed by a period of marked decrease, during which cholera persisted only in lake areas. A second exacerbation began in Bukama in August 2002, when fishermen returned from the lakes to sell their catches. This outbreak rapidly spread to Mbuji Mayi in Eastern Kasai where, as discovered during the outbreak

investigation, the first case was in a tradeswoman who had traveled by train to Bukama to buy fish. In Mbuji Mayi, the cholera epidemic lasted until June 2004 and accounted for 4,949 cases. Concomitantly, in September 2002, another outbreak started in Lubumbashi; it lasted 9 months and affected 4,288 people.

Since July 2004, cholera has persisted only in lake areas. In the north of Bukama, this persistence has been due to iterative outbreaks, successively affecting cities and villages on the lakeshores. Cholera has also persisted on the shores of Lake Tanganyika, especially in the health district of Kalemie, where no lasting intermission has been recorded.

In our study, most cases (60%) occurred in lake areas (13% of inhabitants of the 2 provinces) (Figure 1). The number of cholera cases was statistically significantly higher in the presence of a lake, a main road, a harbor, or a railway (Table). The analysis of reports filed after each intervention showed that they were not conducted in the same way in each area. For every cholera outbreak in Mbuji Mayi, Lubumbashi, and other main cities in southern Katanga, medical staffs were reinforced by humanitarian organizations to set up centers for cholera treatment and to implement public awareness and information campaigns. In contrast, in lake areas, humanitarian organizations intervened in only 17 of 54 outbreaks. Interventions almost exclusively targeted patient care and sensitization campaigns were rarely implemented. Mean duration of interventions was 6 weeks (range 2–20) in lake areas versus 20 weeks in big cities (range 10–30).

Conclusions

Our study shows that, despite the difficulties encountered in gathering reliable field data in a country with a civil war and a disorganized healthcare infrastructure, a consistent set of results that help to understand the epidemiology of cholera in the DRC could be obtained. Information pooled from maps of the spatial distribution of cases, statistical analyses, and screening of investigation reports shows that lake areas are the source of iterative outbreaks and that these sometimes spread to main cities hundreds of kilome-

Table. Model parameters and odds ratios of the negative binomial model selected for cholera cases in Katanga and Eastern Kasai, Democratic Republic of the Congo, 2000–2005*

Characteristic	Coefficient estimate	Standard error	t value	Pr(>|t|)	Odds ratio	95% CI
Intercept	5.50	1.04	5.27	8.92×10^{-7}		
Ln (area)	–0.28	0.11	–2.44	1.64×10^{-2}		
Population	1.97×10^{-6}	1.17×10^{-6}	1.69	9.46×10^{-2}		
Railway station	0.61	0.25	2.42	1.74×10^{-2}	1.8	1.12–3.02
Harbor	1.39	0.33	4.16	7.06×10^{-5}	4.0	2.09–7.75
Main road	1.43	0.41	3.50	7.09×10^{-4}	4.2	1.88–9.32
Lake	2.01	0.33	6.12	2.20×10^{-8}	7.5	3.92–14.23

*Coefficient estimate, regression coefficients (for discrete variables, their exponential gives the odds ratio); t value, value of the t distribution; Pr(>|t|), probability of the null hypothesis of a coefficient estimate not statistically different from zero; CI, confidence interval; intercept, average number of cases; Ln, natural logarithm.

ters away because of the movements of traders and other travelers. Although we fully acknowledge that the correlative nature of this study calls for further research to understand the details of the local natural history of cholera, our results show that the strategy used until now to combat cholera should be reexamined. Maximum effort must be concentrated on populations living around the lakes. Cholera prevention programs should be reinforced there, and safe water should be provided, especially during cholera outbreaks. Because the targets of the programs are relatively small populations living close to lakes, these programs could be more easily afforded than those implemented on a provincial or a national level. In this way, main cities, which are still under the threat of a new outbreak spreading from the lakes, would be protected.

Acknowledgments

We are grateful to the Congolese Ministry of Health authorities, the Congolese medical teams in Katanga and Eastern Kasai, the French and Belgian teams of Médecins sans Frontières in the DRC, and the Médecins du Monde team in Kalemie, who kept data over the years. We thank Louis Mpia Bosenge; Valentin Mukinda; the Congo Emergency Team of MSF Belgium in the DRC, Vital Mondonge, Kinshasa; and Xavier de Radigues for helping in collecting data; Mikis Stasinopoulos for his helpful guidance for the Generalized Additive Models for Location Scale and Shape package; and Philip S. Craig and Lois Rose for manuscript corrections.

This study received financial support from the Institut de Médecine et d'Epidémiologie Appliquée, Fondation Internationale Léon Mba.

Dr Bompangue is a physician and epidemiologist at the Health Ministry, DRC, and a doctoral student in the Department of Chrono-environment, Laboratory of Parasitology, University Hospital Jean-Minjoz, Besançon, France. His research interests include epidemics in the DRC and the African Great Lakes region, with a specific focus on cholera and epidemiologic methods in infectious diseases.

References

1. Colwell RR. Infectious disease and environment: cholera as a paradigm for waterborne disease. *Int Microbiol*. 2004;7:285–9.
2. Reidl J, Klose KE. *Vibrio cholerae* and cholera: out of the water and into the host. *FEMS Microbiol Rev*. 2002;26:125–39.
3. Islam MS, Drasar BS, Sack RB. The aquatic flora and fauna as reservoirs of *Vibrio cholerae*: a review. *J Diarrhoeal Dis Res*. 1994;12:87–96.
4. Mendelsohn J, Dawson T. Climate and cholera in KwaZulu-Natal, South Africa: the role of environmental factors and implications for epidemic preparedness. *Int J Hygiene Environ Health*; 2007 [cited 2008 Feb 18]. Available from <http://www.sciencedirect.com>
5. Constantin de Magny G, Guegan JF, Petit M, Cazelles B. Regional-scale climate-variability synchrony of cholera epidemics in West Africa. *BMC Infect Dis*. 2007;7:20.
6. Birmingham ME, Lee LA, Ndayimirije N, Nkurikiye S, Hersh BS, Wells JG, et al. Epidemic cholera in Burundi: patterns of transmission in the Great Rift Valley Lake region. *Lancet*. 1997;349:981–5.
7. Shapiro RL, Otieno MR, Adcock PM, Phillips-Howard PA, Hawley WA, Kumar L, et al. Transmission of epidemic control *Vibrio cholerae* O1 in rural western Kenya associated with drinking water from Lake Victoria: an environmental reservoir for cholera? *Am J Trop Med Hyg*. 1999;60:271–6.
8. Griffith DC, Kelly-Hope LA, Miller MA. Review of reported cholera outbreaks worldwide, 1995–2005. *Am J Trop Med Hyg*. 2006;75:973–7.
9. World Health Organization. Guidelines for cholera control. 2nd ed. Geneva: The Organization; 1996.
10. World Health Organization. Cholera, 2000. *Wkly Epidemiol Rec*. 2001;76:233–40.
11. World Health Organization. Cholera, 2001. *Wkly Epidemiol Rec*. 2002;77:257–64.
12. World Health Organization. Cholera, 2002. *Wkly Epidemiol Rec*. 2003;78:269–76.
13. World Health Organization. Cholera, 2003. *Wkly Epidemiol Rec*. 2004;79:281–8.
14. World Health Organization. Cholera, 2004. *Wkly Epidemiol Rec*. 2005;80:261–8.
15. World Health Organization. Cholera 2005. *Wkly Epidemiol Rec*. 2006;81:297–307.

Address for correspondence: Renaud Piarroux, Department of Parasitology, Health and Rural Environmental Laboratory (SERF) EA 2276, Faculty of Medicine and Pharmacy, Franche-Comté University, Les Hauts de Chazal, 19 Rue Ambroise Paré, 25030 Besançon, CEDEX, France; email: renaud.piarroux@univ-fcomte.fr

EMERGING INFECTIOUS DISEASES *online*

www.cdc.gov/eid

To receive tables of contents of new issues send an email to listserv@cdc.gov with **subscribe eid-toc** in the body of your message.

Cholera Epidemics, War and Disasters around Goma and Lake Kivu: An Eight-Year Survey

Didier Bompangue^{1,2,3}, Patrick Giraudoux², Martine Piarroux⁴, Guy Mutombo⁵, Rick Shamavu⁶, Bertrand Sudre², Annie Mutombo¹, Vital Mondonge¹, Renaud Piarroux^{2*}

1 Direction de la Lutte contre les Maladies, Ministère de la Santé Publique, Kinshasa-Gombe, République Démocratique du Congo, **2** Laboratoire Chrono-Environnement, CNRS, UMR 6249, Université de Franche-Comté, UFR Sciences et Techniques, Besançon, France, **3** Service de Microbiologie, Université de Kinshasa, Kinshasa, République Démocratique du Congo, **4** Laboratoire Théoriser et Modéliser pour Aménager (ThéMA), UMR 6049 du CNRS, Université de Franche-Comté, Besançon, France, **5** Division Provinciale de la Santé-Nord Kivu, Ministère de la Santé Publique, Goma, République Démocratique du Congo, **6** Division Provinciale de la Santé-Sud Kivu, Ministère de la Santé Publique, Uvira, République Démocratique du Congo

Abstract

Background: During the last eight years, North and South Kivu, located in a lake area in Eastern Democratic Republic of Congo, have been the site of a major volcano eruption and of numerous complex emergencies with population displacements. These conditions have been suspected to favour emergence and spread of cholera epidemics.

Methodology/Principal Findings: In order to assess the influence of these conditions on outbreaks, reports of cholera cases were collected weekly from each health district of North Kivu (4,667,699 inhabitants) and South Kivu (4,670,121 inhabitants) from 2000 through 2007. A geographic information system was established, and in each health district, the relationships between environmental variables and the number of cholera cases were assessed using regression techniques and time series analysis. We further checked for a link between complex emergencies and cholera outbreaks. Finally, we analysed data collected during an epidemiological survey that was implemented in Goma after Nyiragongo eruption. A total of 73,605 cases and 1,612 deaths of cholera were reported. Time series decomposition showed a greater number of cases during the rainy season in South Kivu but not in North Kivu. Spatial distribution of cholera cases exhibited a higher number of cases in health districts bordering lakes (Odds Ratio 7.0, Confidence Interval range 3.8–12.9). Four epidemic reactivations were observed in the 12-week periods following war events, but simulations indicate that the number of reactivations was not larger than that expected during any random selection of period with no war. Nyiragongo volcanic eruption was followed by a marked decrease of cholera incidence.

Conclusion/Significance: Our study points out the crucial role of some towns located in lakeside areas in the persistence of cholera in Kivu. Even if complex emergencies were not systematically followed by cholera epidemics, some of them enabled cholera spreading.

Citation: Bompangue D, Giraudoux P, Piarroux M, Mutombo G, Shamavu R, et al. (2009) Cholera Epidemics, War and Disasters around Goma and Lake Kivu: An Eight-Year Survey. PLoS Negl Trop Dis 3(5): e436. doi:10.1371/journal.pntd.0000436

Editor: Edward T. Ryan, Massachusetts General Hospital, United States of America

Received: December 17, 2008; **Accepted:** April 21, 2009; **Published:** May 19, 2009

Copyright: © 2009 Bompangue et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Funding: This work was supported in part by the Institut de Médecine et d'Epidémiologie Appliquée (IMEA), by the Région de Franche-Comté, and by the Foundation Veolia Environment. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

* E-mail: renaud.piarroux@ap-hm.fr

Introduction

Numerous factors have been postulated to increase the risk of cholera outbreaks in a given area where cholera is already circulating among the population. The main environmental risk factors identified include heavy rainfall, blooms of plankton, and an increase in sea surface temperatures [1]. However, most studies have been performed in coastal areas and very little is known about environmental factors involved in the recurrence of cholera epidemics in inland areas. In this context, it has been recently shown that the lake areas have been the source of iterative cholera outbreaks in the inland areas of Katanga, a province located south-east of the Democratic Republic of Congo (DRC) [2]. Deadly cholera outbreaks have also been reported during complex emergencies (CEs) that are defined as “a humanitarian crisis in a country, region or society where there is a total or considerable

breakdown of authority resulting from internal or external conflict, and which requires an international response that goes beyond the mandate or capacity of any single and/or ongoing United Nations (UN) country programme” [3]. Lastly, probably by analogy with CEs, the risk of cholera epidemics is also an often-repeated assertion in the aftermath of large-scale natural disasters [4].

The provinces of North and South Kivu, bordering Lake Kivu in the east of the DRC, present an exceptional accumulation of these risk factors. They have been the site of numerous dramatic events, including invasion and occupation by foreign forces, civil war, population displacements, a major volcano eruption and earthquakes. According to a recently published mortality survey, it is estimated that the conflicts and humanitarian crises, which ravaged the eastern part of the DRC, have taken the lives of 5.4 million people since 1998, and continue to leave as many as 45,000 dead every month [5]. Despite the tragic events

Author Summary

With the number of cholera cases up to 73,000 during the last eight years and successive wars that have persisted for fifteen years, the North and South Kivu provinces of the Democratic Republic of Congo are currently heavily hit by both cholera outbreaks and war-related population displacements. Prior to this study, no research had been done to identify the sources of epidemics and the pathways used by cholera to spread throughout the Kivu provinces. Here we show that a few cities located on the lakeshore of Lake Kivu and Lake Tanganyika act as the main sources of cholera epidemics and that the number of cholera cases tends to increase during the rainy season. We also found that only a minority of population displacements were followed by cholera outbreaks. Finally, we think that the low number of cholera cases recorded after the Nyiragongo eruption is one more argument to implement programs aiming at restoring, and if possible improving, drinking water access following natural disasters

encountered in the Kivu provinces, an epidemiological surveillance system was set up at the end of the 1990's, and it is still recording data on cholera and other communicable diseases.

Here, we present a study designed to describe epidemiological patterns of cholera outbreaks in the Kivu provinces and to elucidate the influence of specific environmental and geographical factors, CEs and disasters on outbreaks of cholera. This study and the previous work that described the patterns of cholera outbreaks in Katanga and Eastern Kasai [2] constitute the first step of a plan aiming to fight cholera in the DRC.

Methods

From January 2000 through December 2007, reports of cholera cases and deaths were collected weekly from each health district (HD) of North and South Kivu provinces. Case-patients of cholera were defined as recommended by the World Health Organization (WHO): “any person 5 years of age or older in whom severe dehydration develops or who dies from acute watery diarrhoea”, with an age limit lowered to 2 years for cases associated with confirmed cholera outbreaks [6]. Also as recommended by the WHO, each new important outbreak was confirmed by culture and identification of *Vibrio cholera* O1 from stool samples [6].

North Kivu (53,855 km², 4,667,699 inhabitants, 19 HDs) and South Kivu (65,000 km², 4,670,121 inhabitants, 14 HDs) are located in the Great Rift Valley, and border Lake Edward, Lake Kivu, and the north edge of Lake Tanganyika. In Kivu, the climate is characterized by a rainy season from October to the end of May and a dry season the rest of the year. However, the rainy season is partially interrupted by a short dryer period in January and February. The relief of the Kivu provinces is dominated by several volcanic chains. Nyiragongo, the most active volcano, is located approximately 20 kilometres north of the city of Goma (400,000 inhabitants) near Lake Kivu. Nyiragongo last major eruption occurred on January 17, 2002, when lava flow destroyed one third of the city of Goma [7], claiming 147 victims (Didier Bompangue, personal data). In response to this disaster, the international community brought quick and massive help to the population by providing safe drinking water. Moreover, during the 12-week period following the disaster, access to health care facilities was improved, due to the humanitarian response. In particular, a program of drug supply was implemented to support the primary health centres in Goma and health facilities were

made free for a six-week period, followed by another six-week period with reduced prices (0.2 \$ instead of 1 \$ for ambulatory care services, including drugs). Reports on CEs which occurred in the Kivu provinces from 2000 to 2007 were collected from the Reliefweb Website, which compiles information from a variety of sources, including UN Agencies and non-governmental organizations (NGOs) [7]. Among them, we further selected the CEs which were subjected to a medical assessment by humanitarian organizations and which involved more than 1000 internally displaced persons (IDPs).

A geographic information system was established, based on the data collected from the 33 HDs of the two provinces. Following a previously described procedure [2], we statistically examined the relationship between the number of cholera cases in each HD and geographic and environmental variables (area, population, and presence/absence of cities with >100,000 inhabitants, of at least one commercial port, of major tracks or roads, and of lakeside location for each HD). Population and area were log transformed and log(population) included as an offset term in the model. Due to the overdispersion of cholera incidence, several kinds of generalized linear models were compared using quasi-Poisson, and type I and type II negative binomial distributions and they were checked for spatial structure. Stepwise selection of variables was performed in each case and the best models of each family were compared using the Akaike index criterion, according to Venables and Ripley [8] and Rigby et al. [9]. The relationship between the number of cholera cases in health districts and geographical variables was finally modelled using the type II negative binomial family (log link function for both the mean and the distribution parameter). The residuals were checked for spatial structure by plotting an empirical variogram where the distances were computed depending on the geographical coordinates of the centroid of each health district. A variogram envelope was then computed by performing 1000 permutations of the residual values on the spatial locations and the envelope limits were then compared to the variogram. In the present study, we failed to detect residual spatial autocorrelation.

The rate of the cholera cases was mapped for the 33 HDs using ESRI shapefiles. Cross-correlations between time-series of HDs were computed [10]. Time series, which were synchronous (i.e. with no time lag) in a geographical area, were merged. This led to define 5 zones (zone 1: Mutwanga; zone 2: Goma, Kirotshé; zone 3: Bukavu, Katana; zone 4: Uvira, Nundu, Fizi; zone 5: Pinga, Walikale). The time-series obtained were decomposed into a trend, a seasonal component and a remainder using a seasonal-trend decomposition procedure based on loess regression (STL) following Cleveland et al. (1990) [11]. In time series analysis, non-parametric STL methods have the advantage of robustness and simplicity but do not allow predictions and detailed quantification of time-series parameters, not necessary for our purpose in the present study. The remainder was examined and, each week, zones with an above-average number of cases were marked as an epidemic reactivation. If epidemic reactivation was typically fostered by war events in a non-epidemic period, one would expect more epidemic reactivations within the 12 weeks following a war event than within the 12 weeks following any randomly selected no-war week. This hypothesis was tested on a basis of 1000 simulations, checking for the occurrence of at least one (or the absence of any) epidemic reactivations during the 12 weeks following each week randomly selected during a non-epidemic period. The number of randomly selected weeks considered was proportional to the number of war events actually observed in each zone. The impact of the Nyiragongo 2002 eruption was also analysed in relation to the dynamics of cholera

epidemics. In addition, during the 12-week period following the eruption of Nyiragongo, an epidemiological survey was implemented in primary care patients of Goma. During this period, all cases of acute diarrhoea, upper and lower respiratory tract infection and fever were recorded from five local health centres located within the western area of Goma. These data were compared to the records of the centres corresponding to the three weeks before the disasters.

Computing and graphical displays were done using ArcGIS 8.3 and R 7.2 [12], and the following additional packages: MASS version 44 [8], maptools [13], sp [14], GAMLSS [15], and geoR [16].

Results

From January 2000 through December 2007 (416 weeks), a total of 73,605 cases and 1,612 deaths (lethality: 2.2%) from cholera were reported in North and South Kivu. *Vibrio cholerae* O1 El Tor Ogawa was isolated in 8 samples collected from North Kivu (among 38 samples) and 3 from South Kivu (among 29 samples). *Vibrio cholerae* O1 El Tor Inaba was found only in South Kivu (6 positive samples among 29). In Bukavu (South Kivu), Ogawa and Inaba serotypes were isolated during the same outbreak of cholera in 2005. All isolates were found to be sensitive to ciprofloxacin, erythromycin and nalidixic acid, and resistant to tetracycline, ampicillin and cotrimoxazole.

During the eight-year study, both provinces experienced at least one outbreak of cholera per year, with peaks ranging from 130 to more than 700 cases a week (Figure 1). In South Kivu, cholera cases were reported in every week except for two short periods in 2001 and 2002 (Figure 1). Time-series decomposition showed a marked seasonal influence, with a greater number of cases during the rainy season. In North Kivu, no period without cholera could be identified. Seasonal patterns were notably different in North Kivu from those in South Kivu, with epidemics occurring during both dry and rainy seasons (Figure 1). Occasionally, periods of partial remission occurred, during which the weekly incidence of the disease was below 1/50,000 inhabitants (in 2001, weeks 29, 30, 31, 32, 33, 35 and 40, in 2004, weeks 23 and 28). Each time, cholera epidemics again appeared, stemming from residual cases located in Goma (North Kivu) and Uvira (South Kivu). The spatial distribution of cholera cases was heterogeneous, with a higher number of cases in HDs bordering lakes whereas two remote HDs, Kaziba and Shabunda reported no cases of cholera (Figure 2). Table 1 shows that the number of cholera cases was significantly higher in the presence of a lake (odds ratio [OR] 7, 95% confidence interval range [CI] 3.8–12.9).

According to UN and NGOs reports, a total of 18 large-scale population displacements related to CEs has been recorded during the period. In six cases, these population displacements occurred during already ongoing cholera epidemics. Among the 12 remaining war events with displacements of population, four were followed by a cholera outbreak within a period of 12 weeks. Two of these cholera epidemics occurred in IDP camps, starting six and eight weeks after the arrival of the first IDPs in the settlements. However, simulations indicate that the number of reactivations was not larger than expected after any random selection of a week with no war event in a non-epidemic period (Figure 3).

In 2002, the Nyiragongo volcanic eruption was not followed by any exacerbation of cholera incidence. A survey performed in five health centres located in the western area of Goma showed that, during this period, diarrhoeas accounted for only 6% of patients who were seen in the health centres. In the entire city of Goma, only 140 cholera cases (8 cases per week), without any deaths, were reported from January to April 2002. This low number of cases

contrasts with an average of 29 cases per week usually encountered in Goma at this period of the year.

Discussion

Since the beginning of the 1990's, Kivu provinces have been identified as one of the most active foci of cholera in the world. In 1994, the refugee camps located around Goma and Bukavu experienced the deadliest cholera epidemics recorded during the last hundred years. This explosive outbreak of cholera, which affected Rwandan refugees, resulted in about 70,000 cases and 12,000 deaths [17]. Since that period, cholera epidemics have been common in the Kivu provinces, and, in a review of reported cholera outbreaks worldwide, from 1995 to 2005, Griffith et al. notes that the eastern DRC provinces are among the most affected zones in Africa [18]. Notwithstanding the inherent limitations associated with epidemiological data collected in developing countries, especially in a context of civil war, our study is the first that provides spatial data collected weekly during an eight-year period for a population of ten million living in an area severely affected by cholera. Even though the number of cases reported in this study is impressive (more than 73,000 cases), it is likely to be underestimated due to the situation of insecurity which prevailed in this region during the studied period, and which led to poor access to health facilities. By contrast, one cannot exclude that some patients suffering from other diarrhoeal diseases may have been included in the study: indeed, only a few clinical cases have been confirmed by culture, even if that may be due to inappropriate sampling procedures (samples collected from buckets containing chlorine) as well as an excessive delay to handle the samples to the laboratories. Moreover, given the lack of local laboratory facilities, other causes of acute watery diarrhoea could unfortunately not be investigated. For instance, in Bangladesh a number of epidemics of watery diarrhoea are actually caused by ETEC (Enterotoxigenic *Escherichia coli*), which would have a similar clinical presentation to that of the cholera cases here [19]. Therefore, our results obtained using a clinical definition of cases, represent only an estimate of the real cholera burden in the Kivu provinces. Nevertheless, we believe our results to highlight some significant aspects of cholera epidemiology that need further discussion.

First, our findings, obtained from a study performed in a lakeside region, are consistent with what was recently found in the province of Katanga, located on the south side of Kivu in the eastern part of the DRC [2]. This previous study showed that 60 percent of cases that were observed in Katanga and Eastern Kasai between 2002 and 2005 actually occurred in a few lake areas. In these two provinces, the number of cholera cases was significantly higher in the presence of a lake, (OR 7.5, 95% CI: 3.9–14.2). The present study confirms that the same trends can be observed in the Kivu Provinces. Similar to the role played by the towns of Kalemie and Bukama in Katanga, the cities of Goma, Bukavu and Uvira seem to act as the main sources of cholera epidemics in the Kivu provinces. From an operational point of view, this finding implies that more attention should be paid to cholera in these towns, especially in periods when outbreaks are starting with a small, but rising number of cases.

Here, the influence of seasons, and the effect that some lakeside areas have on the persistence of the disease, could make the epidemiological pattern of cholera in Kivu comparable to patterns studied more comprehensively in Asian coastal areas [1,20,21]. Two studies have stressed the link between having cholera and living on the shores of a lake or a river, which includes drinking the water and bathing in it. One of these studies was carried out in

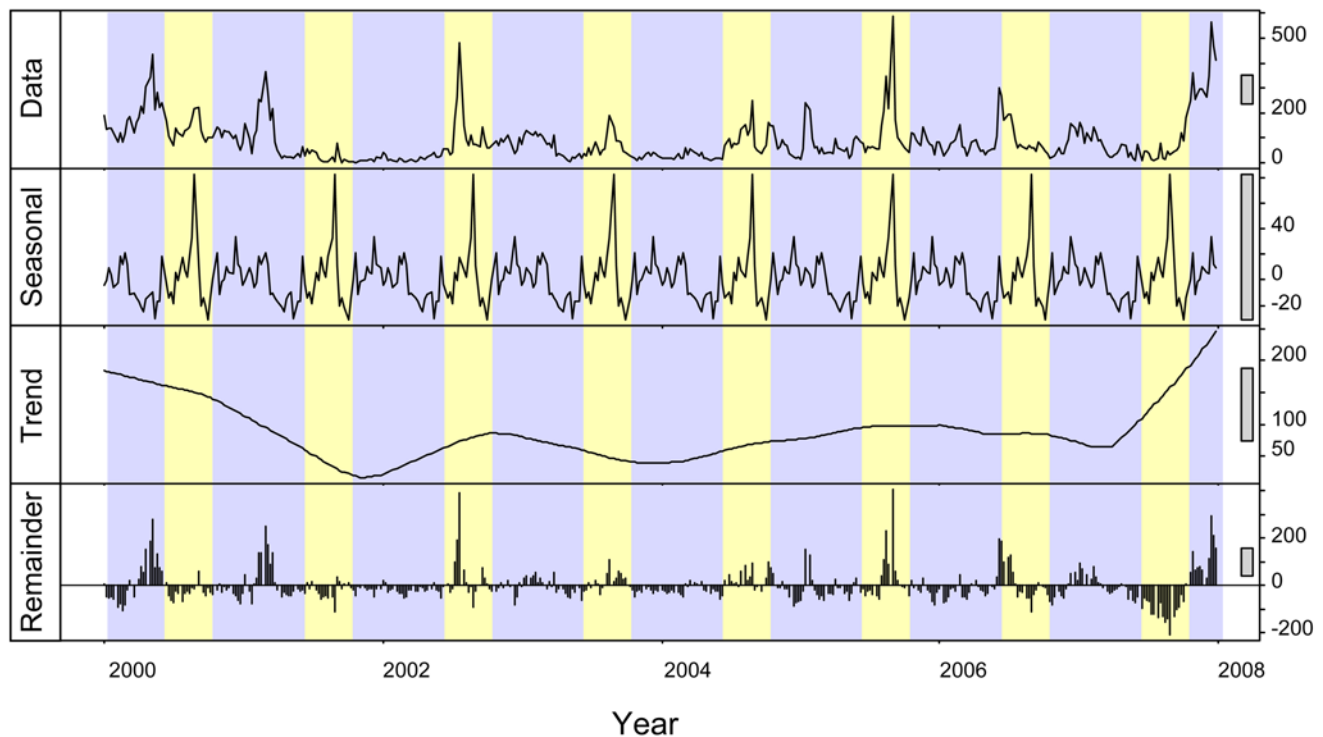
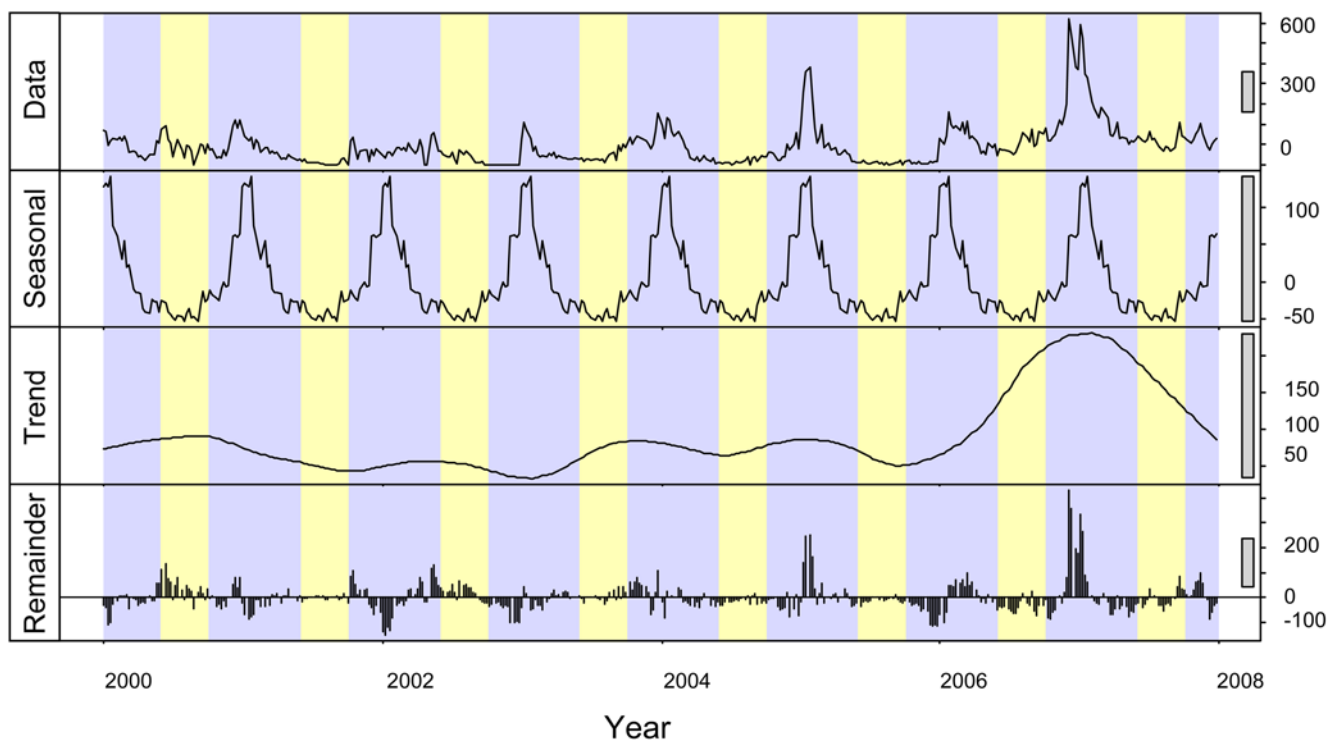
A North Kivu**B South Kivu**

Figure 1. Time-series of the number of weekly cholera cases from 2000 to 2007. A: North Kivu and **B:** South Kivu; yellow: dry season, blue: rainy season. Time-series (data, weekly number of cases) are broken down into seasonal, trend and remainder components. Seasonal, trend and remainders sum to the weekly number of cases (data).
doi:10.1371/journal.pntd.0000436.g001

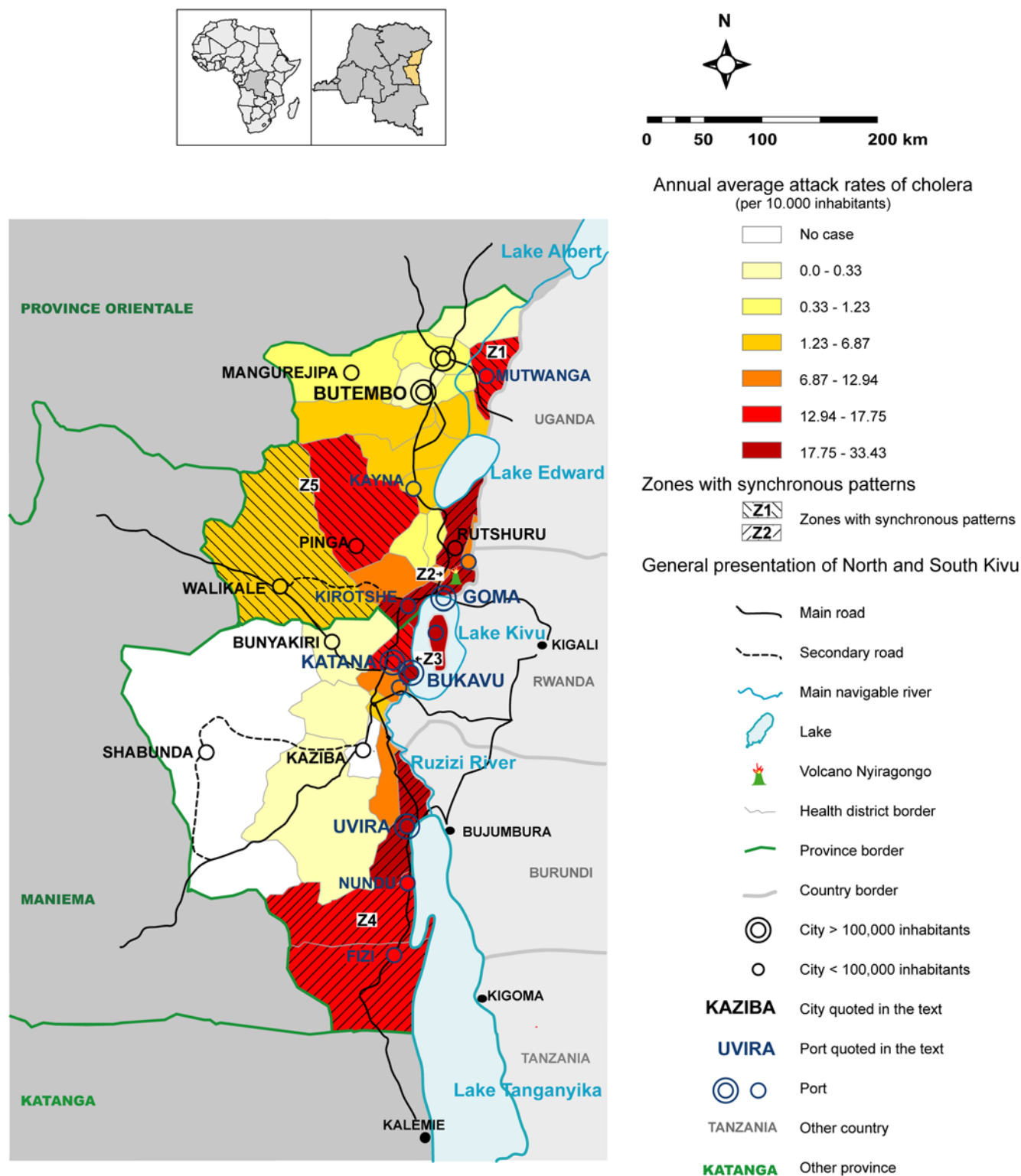


Figure 2. Distribution of cholera in North and South Kivu from 2000 through 2007. Average annual attack rate of cholera per 10,000 inhabitants, in each health district.
doi:10.1371/journal.pntd.0000436.g002

Rumonge, a city in Burundi bordering Lake Tanganyika, the same lake where the port of Uvira is located [22]. Another one, carried out in nearby Lake Victoria in Kenya, suggested the possible existence of at least a transient environmental reservoir for cholera in the lake and evoked the possible role of water hyacinths in

maintaining environmental sources of toxigenic cholera strains during inter-epidemic periods.[23]. However, lake water differ from estuarine brackish water that is known to be the natural reservoir of *V. cholerae* [24–26]. Even though lake water can sometimes be rich in plankton [27], the role of lakes as reservoirs

Table 1. Model parameters and odds ratios of the negative binomial model selected.

	Relative risk	Lower limit 95% CI ¹	Upper limit 95% CI ¹
Intercept ²	0.001	0.001	0.002
City over 100,000 inhabitants	1.464	0.746	2.873
Port	1.608	0.687	3.765
Lake	7.015	3.813	12.904

Suspected cholera cases in North Kivu and South Kivu, Democratic Republic of Congo, 2000–2007.

¹CI, confidence interval.

²Intercept, average number of cases per health zones.

doi:10.1371/journal.pntd.0000436.t001

for *V. cholerae* is not formally established because no study has yet demonstrated a long term persistence of toxigenic *V. cholerae* in the East African Rift Valley lakes. Our results show that there is a need for further studies to explore the role of lake environments in the persistence of cholera in inland Africa. Indeed, some endemic *V. cholerae* strains have long been isolated from fresh water [28] and Kirschner et al. recently demonstrated the permanent existence of non-toxigenic *V. cholerae* strains, which can rapidly grow in a free-living state in one natural lake water in Austria [29].

The eruption of Nyiragongo, the largest natural disaster reported during this period, was not followed by a cholera outbreak, or by any other disease outbreak. On the contrary, during the months that followed the disaster, the rates of cholera infection were among the lowest that have been recorded in the city of Goma during the 8 years of the study. Several hypotheses can be advanced to explain this low number of cholera cases. This can be due to the impact of the emergency program, but other possible explanations cannot be ruled out, including the fact that

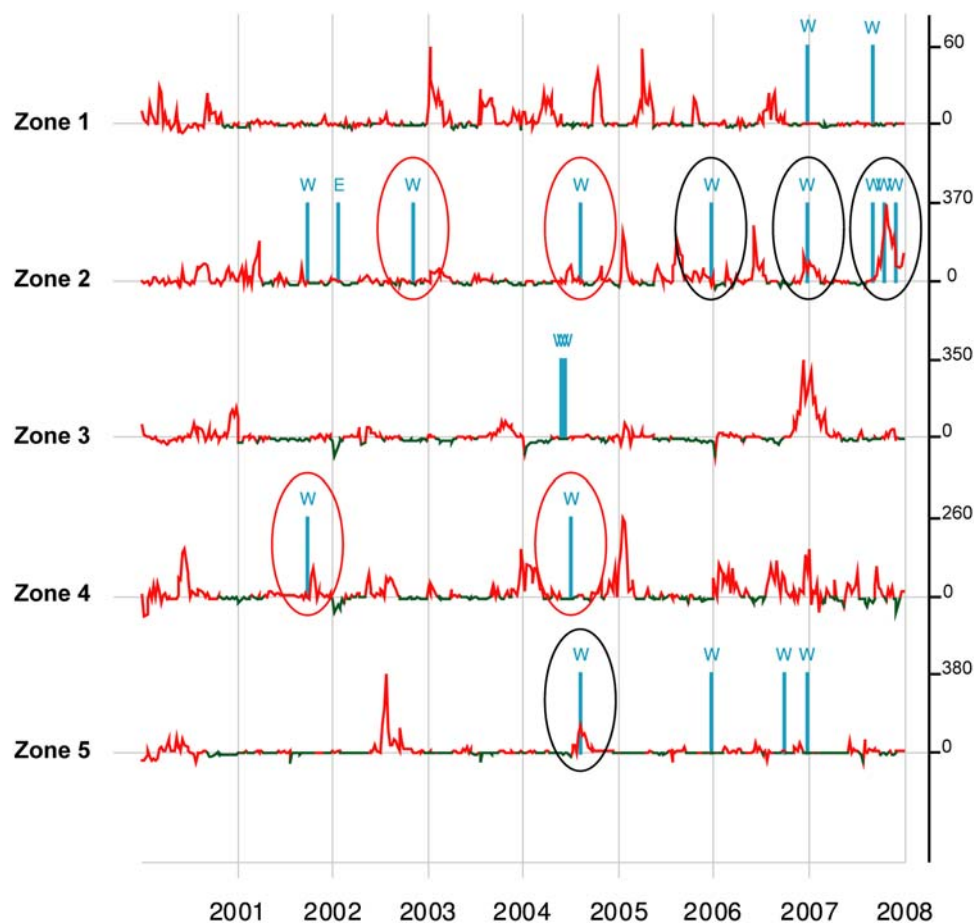


Figure 3. Cholera outbreaks and main events in the 5 synchronous sets (Z) of health districts. War events (W) and the main natural disaster (Nyiragongo eruption- E) observed in North and south Kivu from 2000 to 2007. Zone 1: Mutwanga; Zone 2: Goma, Rutshuru, Kirotshe; Zone 3: Bukavu, Katana. Zone 4: Uvira, Nundu, Fizi; Zone 5: Pinga, Walikale. The vertical axis represents the remainders of the time-series (this removes the undesirable effects of seasonal and inter-annual trends; in red: the periods above average; in green: those below average). War events, which occurred during an already occurring outbreak, are circled in black. War events followed by cholera outbreak starting within 12 weeks are circled in red.

doi:10.1371/journal.pntd.0000436.g003

the volcanic eruption could have decreased the likelihood of a cholera outbreak secondary to the alterations in water sources and usage patterns. Our finding is in agreement with a recent study showing that earthquakes, tsunamis and volcano eruption were not usually followed by epidemics [30]. In particular, for 20 years, not a single cholera outbreak has been recorded in the aftermath of geophysical disaster, even after the cataclysmic tsunami in Asia in 2004. Here, we show that even in a place where cholera outbreaks are common and during a period known to be favourable for epidemics (the rainy season), a disaster that destroyed approximately 12,000 homes and partially destroyed the water supply pipelines of a town of 400,000 inhabitants, the occurrence of cholera epidemics was not unavoidable.

The search for the impact of the CEs indicates that they do not systematically represent a triggering factor for cholera outbreaks. However, in our study, we also saw that in four cases, the occurrence of a CE led to the exacerbation of cholera, including, in two cases a cholera outbreak, which started in a displaced settlement a few weeks after the arrival of IDPs. Actually, several conditions are necessary for a CE to father a cholera outbreak. Among these conditions, there is the fact that some of the IDPs fleeing from the conflict area should have a previously acquired cholera infection (symptomatic or in incubation), and/or the fact that the IDPs should move into areas where cases of cholera are already present. It would also be necessary for there to be insufficient or no assistance to the IDPs (i.e. provisions for safe drinking water and a system of free health care). These circumstances were met in 1994 when one million refugees coming from Rwanda settled in makeshift camps around Goma, overwhelming the capacities of humanitarian staff already present in the town. More recently, due to the insecurity that prevailed around Goma in the summer and fall of 2008, a cascade of cholera outbreaks that began in Rutshuru in the North of Goma have been recorded in North Kivu: Rutshuru (beginning on week 37), Goma and Karisimbi (beginning on week 40), Walikale and Birambizo (beginning on week 44). In each of these HDs, the outbreak was introduced by people escaping from battle-hit areas located North of Goma (D. Bompangue, personal data).

References

- Huq A, Sack RB, Nizam A, Longini IM, Nair GB, et al. (2005) Critical factors influencing the occurrence of *Vibrio cholerae* in the environment of Bangladesh. *Appl Environ Microbiol* 71: 4645–4654.
- Bompangue D, Giraudoux P, Handschumacher P, Piarroux M, Sudre B, et al. (2008) Lakes as source of cholera outbreaks, Democratic Republic of Congo. *Emerg Infect Dis* 14: 798–800.
- Spiegel PB, Le P, Ververs MT, Salama P (2007) Occurrence and overlap of natural disasters, complex emergencies and epidemics during the past decade (1995–2004). *Confl Health* 1: 2.
- Watson JT, Gayer M, Connolly MA (2007) Epidemics after natural disasters. *Emerg Infect Dis* 13: 1–5.
- Coghlan B, Brennan RJ, Ngoy P, Dofara D, Otto B, et al. (2006) Mortality in the Democratic Republic of Congo: a nationwide survey. *Lancet* 367: 44–51.
- WHO (1996) Guidelines for cholera control. Geneva: WHO, Available: <http://whqlibdoc.who.int/publications/1993/924154449X.pdf>. Accessed 12 April 2009.
- Telesmanich NR, Koliakina AV, Lomov Iu M, Men'shikova EA, Mironova AV (2008) [Characterization of the adhesive activity of cholera vibrios in mammalian red blood cells as an additional test for assessment of their epidemic significance]. *Klin Lab Diagn* 2008: 45–48.
- Venables WN, Ripley BD (2002) *Modern Applied Statistics with S*. New York: Springer Science+Business Media.
- Rigby RA, Stasinopoulos DM (2005) Generalized additive models for location, scale and shape, (with discussion). *Appl Stat* 54: 507–554.
- Legendre P, Legendre L (1998) *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier. pp 870.
- Cleveland RB, Cleveland WS, McRae JE, Terpenning I (1990) STL: a seasonal-trend decomposition procedure based on Loess. *J Off Stat* 6: 3–73.
- R Development Core Team (2008) *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, Available: <http://cran.r-project.org/doc/manuals/refman.pdf>. Accessed 12 April 2009.
- Lewin-Koh NJ, Bivand R (2008) Tools for reading and handling spatial objects. pp. Available: <http://cran.r-project.org/web/packages/maptools/index.html>. Accessed 12 April 2009.
- Pebsma EJ, Bivand R (2005) Classes and methods for spatial data in R. *R-news* 5: 9–13. Available: http://cran.r-project.org/doc/Rnews/Rnews_2005-2.pdf. Accessed 12 April 2009.
- Stasinopoulos DM, Rigby B (2007) Generalized additive models for location scale and shape (GAMLSS) in R. *J Stat Softw* 23: 1–46. Available: <http://www.jstatsoft.org/v23/i07/paper>. Accessed 12 April 2009.
- Ribeiro PJ, Diggle PJ (2001) *geoR: A package for geostatistical analysis*. *R-news* 1: 15–18. Available: http://cran.rproject.org/doc/Rnews/Rnews_2001-2.pdf. Accessed 12 April 2009.
- Siddique AK, Salam A, Islam MS, Akram K, Majumdar RN, et al. (1995) Why treatment centres failed to prevent cholera deaths among Rwandan refugees in Goma, Zaire. *Lancet* 345: 359–361.
- Griffith DC, Kelly-Hope LA, Miller MA (2006) Review of reported cholera outbreaks worldwide, 1995–2005. *Am J Trop Med Hyg* 75: 973–977.
- Harris AM, Chowdhury F, Begum YA, Khan AI, Faruque AS, et al. (2008) Shifting prevalence of major diarrheal pathogens in patients seeking hospital care during floods in 1998, 2004, and 2007 in Dhaka, Bangladesh. *Am J Trop Med Hyg* 79: 708–714.
- Koelle K, Rodo X, Pascual M, Yunus M, Mostafa G (2005) Refractory periods and climate forcing in cholera dynamics. *Nature* 436: 696–700.
- Sack RB, Siddique AK, Longini IM Jr, Nizam A, Yunus M, et al. (2003) A 4-year study of the epidemiology of *Vibrio cholerae* in four rural areas of Bangladesh. *J Infect Dis* 187: 96–101.
- Birmingham ME, Lee LA, Ndayimirije N, Nkurikiye S, Hersh BS, et al. (1997) Epidemic cholera in Burundi: patterns of transmission in the Great Rift Valley Lake region. *Lancet* 349: 981–985.
- Shapiro RL, Otieno MR, Adcock PM, Phillips-Howard PA, Hawley WA, et al. (1999) Transmission of epidemic *Vibrio cholerae* O1 in rural western Kenya

Simultaneously, due to excessive danger for fieldworkers, numerous NGOs fled from Goma and neighbouring areas as cholera outbreaks started, leading to a disorganization of the programs aimed to limit the spread of the epidemic.

In conclusion, the epidemiology of cholera in both Kivu provinces confirms our previous findings in Katanga and eastern Kasai, and highlights the role of some towns located in lakeside areas as sources of cholera outbreaks. The results of this study show that, even if each CE with numerous IDPs is not systematically followed by a cholera outbreak, CEs may facilitate spreading of already existing outbreaks due to the fleeing of infected IDPs to new areas where NGOs cannot reach them due to an excessive danger for fieldworkers. By contrast, even in a context of CE and natural disaster, the occurrence of epidemics is not unavoidable. For example, the number of cholera cases was lower than expected after the partial destruction of the town by the Nyiragongo eruption followed by the implementation of an emergency program. We think that this low number of cholera cases is one more argument to implement programs aiming to restore, and if possible to improve, drinking water access following natural disasters.

Supporting Information

Alternative Language Article S1 Translation of the Article into French.

Found at: doi:10.1371/journal.pntd.0000436.s001 (0.96 MB PDF)

Acknowledgments

We thank the Congolese Ministry of Health authorities, the Congolese medical teams in North Kivu and South Kivu for their collaboration.

Author Contributions

Conceived and designed the experiments: DB RP. Performed the experiments: DB PG MP GM RS BS AM VM. Analyzed the data: DB PG MP BS RP. Contributed reagents/materials/analysis tools: DB PG MP GM RS BS AM VM RP. Wrote the paper: DB PG MP RP.

- associated with drinking water from Lake Victoria: an environmental reservoir for cholera? *Am J Trop Med Hyg* 60: 271–276.
24. Colwell RR (2004) Infectious disease and environment: cholera as a paradigm for waterborne disease. *Int Microbiol* 7: 285–289.
 25. Ramamurthy T, Yamasaki S, Takeda Y, Nair GB (2003) *Vibrio cholerae* O139 Bengal: odyssey of a fortuitous variant. *Microbes Infect* 5: 329–344.
 26. Tantilillo GM, Fontanarosa M, Di Pinto A, Musti M (2004) Updated perspectives on emerging vibrios associated with human infections. *Lett Appl Microbiol* 39: 117–126.
 27. Plisnier P-D, Chitamwebwa D, Mwape L, Tshibangu K, Langenberg V, et al. (1999) Limnological annual cycle inferred from physical – chemical fluctuations at three stations of Lake Tanganyika. *Hydrobiologia* 407: 45–58.
 28. Islam MS, Drasar BS, Sack RB (1994) The aquatic flora and fauna as reservoirs of *Vibrio cholerae*: a review. *J Diarrhoeal Dis Res* 12: 87–96.
 29. Kirschner AK, Schlesinger J, Farnleitner AH, Hornek R, Suss B, et al. (2008) Rapid growth of planktonic *Vibrio cholerae* non-O1/non-O139 strains in a large alkaline lake in Austria: dependence on temperature and dissolved organic carbon quality. *Appl Environ Microbiol* 74: 2004–2015.
 30. Floret N, Viel JF, Mauny F, Hoen B, Piarroux R (2006) Negligible risk for epidemics after geophysical disasters. *Emerg Infect Dis* 12: 543–548.

From research to field action: example of the fight against cholera in the Democratic Republic of Congo

R. Piarroux^{1,2}, D. Bompangue^{2,3}, P.-Y. Oger⁴, F. Haaser⁴, A. Boinet⁵, and T. Vandeveld⁴

¹Hôpital de la Timone, Assistance Publique-Hôpitaux de Marseille, France

²Laboratoire Chrono-Environnement, CNRS, UMR 6249, Université de Franche-Comté,
UFR Sciences et Techniques, Besançon, France

³Direction de la Lutte contre la Maladie, Ministère de la Santé Publique, Kinshasa,
Democratic Republic of Congo

⁴Fondation Veolia Environnement, Nanterre, France

⁵Solidarités, Clichy, France

Abstract. The Democratic Republic of Congo (DRC) is the country in the world which reported the highest number of cholera cases to WHO from 2002 to 2007 (128 936 cases out of a worldwide 902 071 cases). We therefore implemented a research work intending to understand the epidemiology of cholera in DRC and to ensure an improvement of the strategy to fight against cholera. This broad study enabled us to accurately determine the cholera epidemics mechanisms on different scales, to identify the source zones of the disease, and the groups of populations acting as vectors of the spread. It was then possible to demonstrate the role of “sanctuary” played by some suburbs of lakeshore cities. A collaborative network including several scientific institutions in Europe and in DRC, local and national government administrations in the field of public health and sanitation, international agencies, NGOs and private foundations, was progressively set up. Following the conclusions of our epidemiological studies, a drastic change of strategy was proposed: the limited curative approach on the one hand, the few existing water/sanitation programs on the other hand, have been merged in a global approach involving bigger scale water and sanitation infrastructure improvement, environmental protection, hygiene awareness and medical surveys targeting a few focus areas playing a central role in the epidemics. In conclusion, by better targeting intervention zones, one can gather human and technical resources previously scattered on the vast territory of DRC. The strategy presented here revives the hope to eliminate cholera in DRC.

Keywords. cholera, epidemics, Democratic Republic of Congo, sanitation, water supply

1 Introduction

Cholera epidemics in Africa, represent an emblematic humanitarian emergency, in which most of medical non governmental organizations (NGOs) used to act only once the outbreak was already launched and when the number of victims is overwhelming local capacities. Such reactive posture, even though it greatly limited the number of deaths when promptly and correctly applied, could not achieve a control of cholera epidemics. Indeed, since its introduction in Conakry in 1970, cholera has spread all over Sub-Saharan Africa and still provokes epidemics despite hun-

dreds of emergency programs implemented by NGOs. A recent paper reviewing ProMED (Program for Monitoring Emerging Disease) reports of cholera outbreaks in the world showed that Sub-Saharan Africa is now the most affected region with 66% of reported outbreaks and 87.6% of cases from 1995 to 2005 (Griffith et al., 2006). According to official reports, cholera was responsible for 902 071 new cases and 21 417 deaths during the last six years (WHO, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008). The true figure is likely to be much higher due to underreporting of cases. WHO experts estimate that the true burden of cholera is as high as 5.5 million cases and about 120 000 deaths each year (Zuckerman et al., 2007). Surprisingly, the dynamics of cholera transmission has almost never been investigated in Africa. A few studies have been published, dealing with the link between climate and cholera (Emch et al., 2008; Olago et al.,



Correspondence to: R. Piarroux
(renaud.piarroux@ap-hm.fr)

2007; Mendelsohn et al., 2008; Constantin de Magny et al., 2007) but they were not designed to provide policy makers the skills and knowledge needed to organize more efficiently the fight against cholera. Apart from rare case-control studies implemented to identify risks factors in restricted areas (Acosta et al., 2001; Birmingham et al., 1997; Shapiro et al., 1999), most available reports only describe cholera outbreaks in a given area such as a town or a refugee settlement. This contrasts with Asia, where monitoring programs benefit from a comprehensive knowledge of cholera epidemiology. In countries bordering the Gulf of Bengal, the original region of cholera, outbreaks are closely linked to coastal and estuary areas. The environmental *Vibrio cholerae* strains emerge and spread in human communities during monsoon seasons (Koelle et al., 2005; Sack et al., 2003; Huq et al., 2005). In Africa, a similar phenomenon could possibly explain some outbreaks of cholera spreading from coastal areas, but it hardly explains how the disease can hit areas located thousands kilometres away from the coast.

The Democratic Republic of Congo (DRC) is a vast country with a sole narrow maritime façade located in the western region of the country. However, except for an epidemic that hit Kinshasa in the late nineties, large cholera outbreaks only occur in the provinces situated on the eastern continental border of DRC, namely Katanga, South Kivu, North Kivu, and the Oriental Province. Since the great cholera epidemic in refugees camps in Kivu provinces in 1994, which led to the publication of a few reports, this topic has been totally left out by the medical and scientific community (Heyman et al., 1997; Roberts and Toole, 1995; Siddique et al., 1995; Goma Epidemiology Group, 1995). In eastern DRC, response to outbreaks is almost exclusively dependent on humanitarian assistance. In 1997, a Congo Emergency Team was created in order to provide fast emergency relief to meet sudden needs and to react to emergency situations such as epidemics. Since this period, more than one hundred cholera outbreaks have been investigated, most of them in Katanga, South and North Kivu provinces, and dozens of emergency programs have been implemented. Despite these programs no significant progress has been registered in the fight against cholera in this region. On the contrary, due to these iterative outbreaks that hit Katanga and Kivu provinces, DRC is nowadays the country that reports the highest number of cholera cases in the world to WHO. Indeed, during the period 2002–2007 DRC represents 14% of all cases notified to WHO (128 936 cases out of a 902 071 cases worldwide) and 21% of deaths (4466 deaths out of a worldwide 21 417 cases) (WHO, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008).

We therefore decided to develop research work intended to facilitate understanding of the epidemiology of cholera in eastern DRC and to disseminate the acquired knowledge so as to ensure an improvement of the strategy for continuing the fight against cholera. One thing leading to another, a collaborative network including several scientific institutions in Europe and in DRC, local and national government admin-

istrations in the field of public health and sanitation, international agencies, NGOs and private foundations, was progressively set up and a new plan was drawn up aiming to eliminate cholera from DRC before 2012. We present here a brief overview of the development of our project from the initial scientific results to the first steps of the ongoing field work in the main cholera foci of Eastern DRC.

2 Cholera epidemiology in eastern DRC

Environmental factors that could explain the recurrence of cholera outbreaks were investigated during an epidemiological study which involved all cases of cholera notified in DRC since 2002. The first part of this study, which concerns Katanga and Eastern Kasai has been published recently (Bompangue et al., 2008). Detailed methodology and results are freely available at <http://www.cdc.gov/eid/content/14/5/798.htm>. To summarize, from 2002 to 2005, reports of cholera cases and deaths from cholera were collected weekly from each health district of Katanga and Eastern Kasai provinces. A geographic information system was established, based on the data collected from the 106 health districts of the 2 provinces. Using regression techniques, we statistically examined the relationship between the number of cholera cases in each health district and the following list of geographic and environmental variables: area; population; presence of cities whose population ran over 100 000 inhabitants; means of transportation such as railway stations, harbours, major tracks or roads; and lakes.

Results revealed an original epidemiological pattern of cholera, distinct from those described in coastal areas, with specific sources in lacustrine areas, transmission pathways by main roads and railways and seasonal variations related to fishing and commercial activities. Indeed, the heterogeneity of cholera epidemics patterns from one area to another matches with their main geographical characteristics: lacustrine areas have been the more severely hit (Fig. 1), with intense iterative outbreaks separated by short intermissions; urban areas such as Lubumbashi, the capital of Katanga, and Mbuji-Mayi, the capital of Eastern Kasai, had also experienced intense outbreaks that could persist for numerous months. However, in these towns, epidemics were followed by long, and sometimes apparently definitive, remissions. Rural remote areas had often been spared and if not, experienced only limited outbreaks. The city of Kalemie, located on the side of the lake Tanganyika in the North Eastern border of Katanga, was the one which experienced the highest number of cases in the province. In this town, cholera never stopped for more than 6 years (Fig. 2), contrasting with the other areas in Katanga. Each year, several outbreaks were identified in Kalemie, occurring each time in areas lacking sustainable access to safe drinking water. Fishermen's settlements located around lakeshore cities also experienced outbreaks that were favoured by overcrowding during the fishing

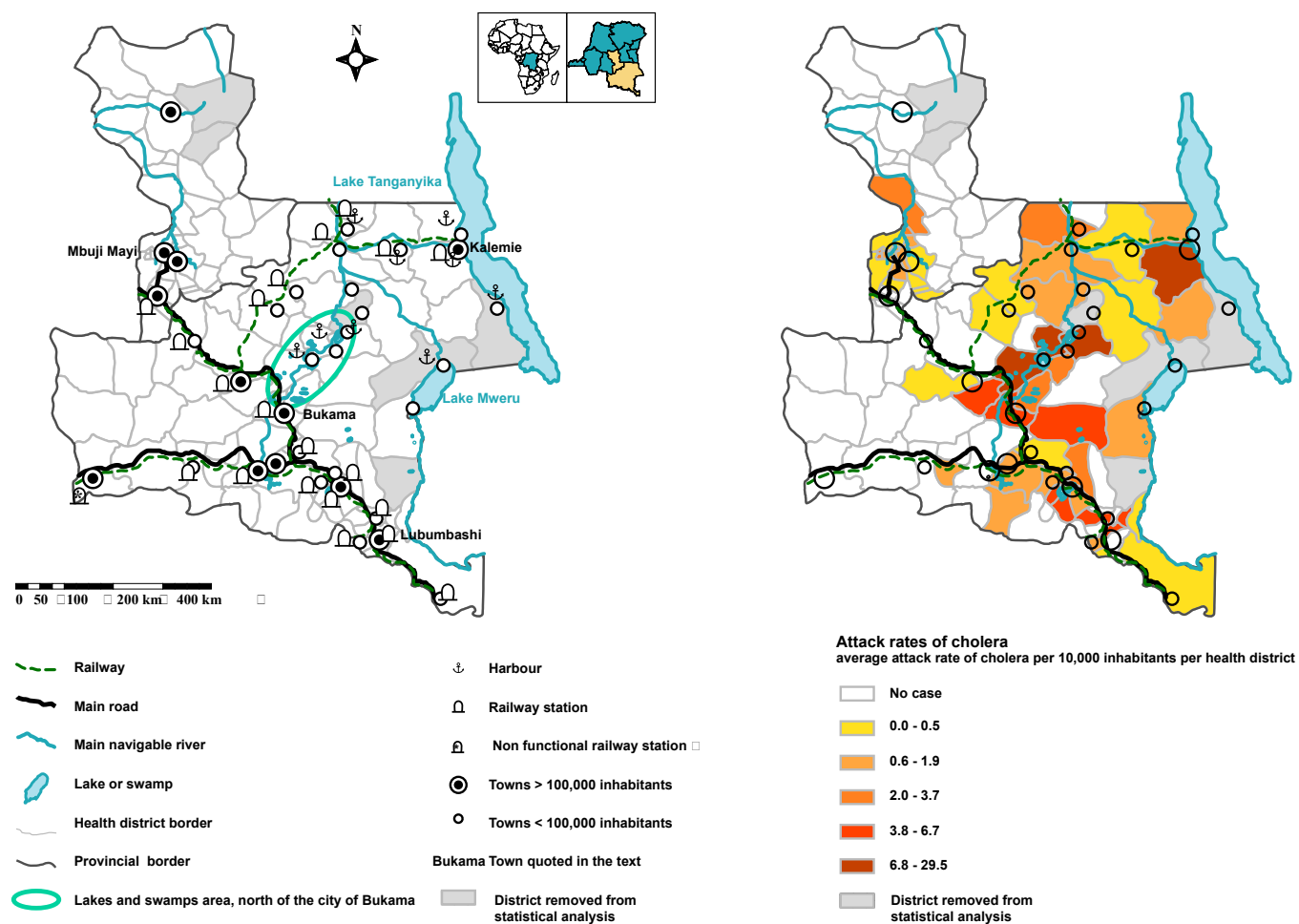


Figure 1. Spatial distribution of cholera in the Provinces of Katanga and of the Oriental Kasai from 2002 to 2005.

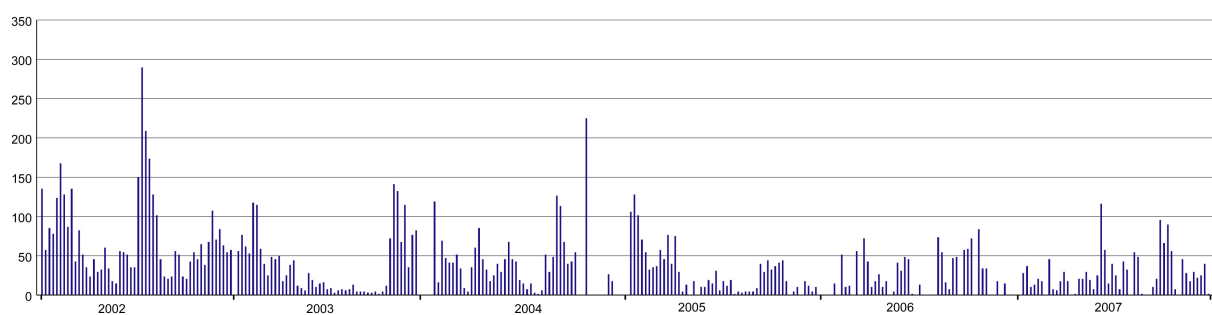


Figure 2. Cholera evolution in Kalemie city (from 2002 to 2007, weekly number of cases).

seasons. The periodic return of fishermen to their home in the lakeshore cities, acts as a trigger for cholera outbreaks.

This study also helped to identify the pathways used by epidemics to spread from lakeside areas such as Kalemie to far-off areas, such as the cities of Mbuji-Mayi and Lubumbashi lying hundreds of kilometres away from the lakes.

From lakeside to main cities, the spread of cholera was favoured by fishing and fish trading activities that provoke cascades of outbreaks hitting the successive towns located on the major communication routes, including railway and ship crossings.



Figure 3. Inhabitants of Kalemie city, drawing water for drinking and catering. Picture taken during epidemical period (September 2006).

Finally, this epidemiological study also pointed out the inadequacy of the past strategy used to fight cholera in DRC, which was based upon classical reactive posture in emergency situations. Each time an outbreak strikes one of the main town in southern Katanga or in Eastern Kasai, namely Lubumbashi, Kolwezi, Likasi, or Mbuji-Mayi, local medical staff was reinforced by humanitarian organizations to set up centres for cholera treatment and to implement public awareness and information campaigns. However, in lake areas such as Kalemie and Bukama, humanitarian organizations intervened only in 17 out of the 54 outbreaks that took place from 2002 to 2005 (Bompangue et al., 2008). These interventions almost exclusively targeted patients care whereas sensitisation campaigns were rarely implemented. This situation led to a paradox: for a majority of aid workers dealing with public health, cholera outbreaks got trivialized in Kalemie and other lakeside cities of Katanga due to high frequency of occurrence, when a few cases in the main cities of south Katanga were enough to alarm the public because cholera was not striking there every year. However one needs to realize that these few cases were imported from the lakeside cities and fighting the outbreak at its root is the only clue.

3 A new comprehensive strategy to fight cholera in Eastern DRC

Epidemiological studies conducted by the 4th Direction of the Congolese Ministry of Health and a North-South university network clearly pointed out the role of seven cities located on the lake's shore that act as the main sources of cholera epidemics, namely Bukama, Bukavu, Bunia, Goma, Kalemie, Kasenga and Uvira. These cities act as a "sanctuary" for cholera. There, more precise epidemiological surveys showed that the great majority of cases occurred in the

areas deprived of adequate access to safe drinking water. In these areas, contaminated surface water (mainly lakes) used by thousands of people for drinking or for personal hygiene is obviously the source of cholera epidemics (Fig. 3). Thus, remote or lack of access to safe drinking water in some limited areas located in lakeshore cities appears to be the primary cause of cholera outbreaks. Several joint missions of medical specialists in epidemiology of cholera and engineers in water and sanitation in eastern DRC have confirmed that there was need of drastic improvement of water and sanitation infrastructures especially in these urban and suburban areas. Finally it was expected that a strategy against cholera based on access to safe drinking water and good medical surveillance in those areas could eliminate the epidemics of cholera in eastern DRC.

A drastic change of strategy was therefore proposed: the limited curative approach on the one hand, the few existing water/sanitation programs on the other hand will be merged in a global approach involving bigger scale water and sanitation infrastructure improvement, environmental protection, hygiene awareness and medical watch targeting a few focus areas diagnosed as playing a central role in the origin of the epidemics. This new comprehensive strategy was discussed during a workshop gathering the main stakeholders held from 17 to 18 December 2007 in Kinshasa and further formalized in the Strategic Plan for the Elimination of Cholera in the DRC 2008–2012 approved by the Minister of Health of DRC.

The strength and the originality of this Congo strategic plan emerging from the outcomes of the previous epidemiological studies are that the strategy is based on a grading of the intervention zones outlining several districts in cities located on the shore of Lake Mwero, Tanganyika, Kivu, and Edward (Fig. 4). Consequently, available human and financial resources are easier to gather on a few sites to hopefully tackle cholera until its complete elimination from the eastern region of DRC. Moreover, the Ministry of Public Health of DRC has set the goal of a total "elimination" of cholera approaching 2012. More specifically, cholera will be considered as eliminated once the annual incidence rate is below 1 case out of 100 000 inhabitants; in other words, less than 500 new cases per year (nowadays, the incidence is on average 270 cases out of 100 000 inhabitants for the whole country). In order to eliminate cholera in DRC, 7 strategic adjustments have been determined:

- *Empowerment of the activities of epidemiological surveillance.* This empowerment focuses conjointly on clinical and biological surveillance. The targeted zones for this activity consist in the previously mentioned regions as well as in a couple of nearby-located great urban centres (Lubumbashi, Likasi, Kolwezi, Kamina in Katanga and Mbuji-Mayi in oriental Kasai) where the data analysis stressed their vulnerability to cholera.

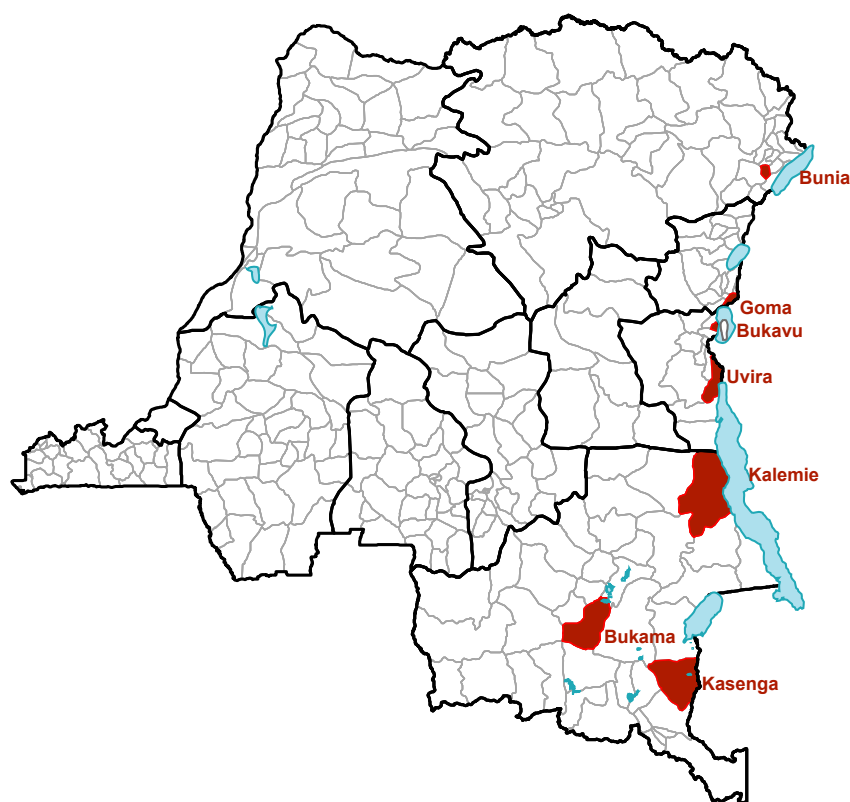


Figure 4. The 7 targeted health zones according to the strategic plan of cholera elimination in DRC.

- *Empowerment of the preventive measures in the targeted health zones.* In the targeted health zones, preventive actions will mainly focus on hygiene promotion, sanitation of the overall environment, as well as individual and collective awareness hygiene campaigns.
- *Implementation of specific interventions in the scope of safe drinking water.* The main aim of this activity is to improve the supply of drinking water in sanctuary zones. The activities will proceed in successive stages for each of the 7 zones: technical diagnosis of the existing facilities (water treatment plant, distribution network, storage facilities,...), a screening of the organisation of the local water board, a mapping of the ongoing activities from the pool of actors involved in the global enhancement of the supply of safe drinking water focusing on their impact on the fight against cholera. The second phase will be the production of a technical document listing out the long term work to be done on both the treatment plant and the distribution network to improve the situation on a timelessness basis. In order to undertake those actions, a critical technical asset will be brought by the expertise of professional from water companies. Veoliaforce experts will give a helping hand all along from the definition of the strategy to its effective implementation in order to eradicate cholera. Throughout the Veolia Foundation will support the project financially.
- *Implementation of specific interventions in the scope of drainage work and hygiene.* The main scope in this activity is to reduce the contamination of fresh water in the targeted zones.
- *Clinical care plan.* The clinical care of cholera holders will continue to be based on rehydration at the treatment centres for diarrhoeal diseases.
- *Coordination's reinforcement* The stakeholders involved in the fight against cholera will be gathered on a communication/coordination platform where the exchange of information and of funding will be centralised for a unified action. A team will be dedicated to secure the inter-sectors' partnerships of the platform.
- *Medical research promotion.* The questioning emerging from the cholera project will go through real time analysis by the “Direction de la Lutte contre la Maladie” (branch of the Congolese Public Health Ministry dedicated to fight epidemics) with the technical support of an international network of universities and the financial support from different stakeholders.

4 First steps in the implementation of this program

The implementation of this new strategy has led to the establishment of an operational platform combining medical experts in epidemiology, water and sanitation specialists, field NGOs and key UN agencies. A first working group was established. It assembles around the 4th Direction of the Ministry of Public Health, REGIDESO, international agencies such as UNICEF, WHO, OCHA, health and environmental experts (Université de Franche-Comté, Université de la Méditerranée, Solidarités NGO, Veoliaforce) and donors (Veolia Foundation, French Embassy, European Union with ECHO, AFD, IMEA- ...) who all share the same strategic vision.

Initial actions began in the Katanga Province in 2008. Kalemie is situated in the eastern part of Katanga province, on the right bank of Tanganyika Lake. It plays a key role in the durability of the cholera pandemics in this region. Thus, this specific zone has been designated as “pilot project” for the implementation of the new strategy. Once this operational process in Kalemie will have proved its relevance, the same actions will gradually be duplicated in other sanctuary regions taking into consideration the specificities of each region. The primary phase has already started from 2007 as a pilot project with Solidarités in Kalemie (supported by ECHO). This project aimed to define a medium term action plan that will prevent the worsening of the actual situation and improve it in key identified suburbs. Then in December 2007 and in July 2008, two field missions were deployed to Kalemie. The missions were led by multi-sector teams constituted of delegates of the Ministry of Public Health in DRC, REGIDESO, experts of the Veoliaforce, a representative of the university of Franche-Comté (France) and water engineers from the NGO Solidarités. The pursued goal was to refine the epidemiological and water supply diagnosis to encompass of the cholera recurrence. Those two missions outlined the high correlation between the epidemics and the lack of access to safe drinking water in Kalemie, lake-shore city with a population greater than 150 000 inhabitants. The plan regarding water supply is two folded: on one hand a prioritised actions plan is drafted for 2008–2009, while, on the other hand further studies will be pursued on the drinking-water network of the city, including a collection of land-surveying datum to be used later in an ambitious water-supply facilities realignment on priority zones developed by NGO Solidarités and Veoliaforce experts.

Henceforth, NGO Solidarités is starting some actions recommended in the strategic action plan in order to improve the access to safe drinking-water with the construction of twenty water supply facilities equipped each with ten taps and supplied from a 10 m³ tank connected to the city water system (Fig. 5). In addition, the villages hosting fishermen during fishing season have been equipped with new wells. Indeed,



Figure 5. Waterspout system implemented in Kalemie by NGO Solidarités.

the epidemiological studies have outlined the link between the living conditions of these fishermen and the emergence and the dissemination of cholera epidemics.

A diagnosis of the water treatment plant carried out in 2008, led to the definition of an initial program securing the existing facilities. This program is jointly supported by the Veolia Environnement Foundation and the French Embassy in DRC. The works will mainly consist in performing basic repairs on the water plant and in rehabilitating several public drinking fountains in a fishermen district.

At the same time, other actions are being followed in the Katanga region in the priority zones identified by the epidemiological studies. Several NGOs are leading those actions with in some cases the financial support of UNICEF (Pool funds) and ECHO. MSF-Belgium performed a detailed diagnosis of the health situation in the health centres located north of Bukama: ICRC and a couple of other NGOs, namely Solidarités, Première Urgence and ACF are very active in the improvement of safe water supply in this same area.

5 Discussion

Even if the epidemiological supervision shows that cholera is receding from Katanga since the first 2008 quarter, it is obvious that the fight against cholera has just begun and that extensive work on safe water supply is to be expected. Furthermore, the armed conflicts ongoing in the North Kivu Province are preventing a widespread action in the Great Lakes region. However, the project can already be considered as a meaningful progress in the fight against cholera on the African continent simply because the very idea of eliminating this epidemic disease has been brought forward.

In DRC, the surface of the provinces hit by cholera is equal to France, Spain and Portugal put together. Such a large surface could represent a major impediment for any actor wanting to protect the Congolese population from cholera.

The basic assumption about cholera was not contradicted for decades: it was simply the disease associated with misery and one could not prevent the epidemics except to counter the outbreaks when they reached a certain intensity. This myth is now vanishing with the results showing that epidemics only originate in lakeshore regions where targeted actions on water supply are reducing cholera epidemics. The revival of the fight against cholera originates from the above described epidemiological studies.

An active unit has slowly built up associating personalities originating from diverse horizons: doctors and field actors working for the Public Health Ministry in Kinshasa and other vulnerable cholera zones, scientists based in France and Belgium, the general delegate of a private foundation and several water engineers related to NGOs or private firms. This extensive mobilization of presumably reasonable actors has played a major role in the attention drawn to the project since the end of 2007. Besides the above mentioned organisations, the project now involves the whole DRC Public Health Ministry since the ratification of the plan by the Health Minister himself, but also UNICEF (supporting the project closely), WHO, and several NGOs (namely but not exclusively, Solidarités, MSF Belgique, MSF France and MDM France that carried out several epidemiological surveys on the field), whilst donors showed a strong interest in the ongoing project, granting initial funds for preliminary actions.

The first originality of the project comes from the scientific surveys lead by a multidisciplinary team composed of doctors, epidemiologists, hydro geologists, civil engineers, ecologists and lakeshore environment biologists. This broad study enabled them to determine accurately the mechanisms of the cholera epidemics on different scales, to identify the source zones of the disease, and the groups of populations acting as vectors of the spread. It was then possible to determine a scale in the cholera dissemination, pointing out the role of “sanctuary” played by some suburbs of lakeshore cities. The first results given by ongoing programs targeting safe drinking water in lakeshore cities leave space for hope. Indeed, it is to expect that by targeting the population living on the lakes shores where the epidemics originate, the disease would be tackled at its very roots and thus the population of the East DRC, i.e. 30 billion inhabitants could be spared. By targeting intervention zones better, one can gather human and technical resources previously scattered over the vast territory of DRC. The strategy presented here, as it is strongly supported by the results of scientific research and as it is targeted to be implemented in a short time, definitely revives the hope to eliminate cholera in DRC.

The second point of interest of the project, is its capacity to engage rehabilitation phases focusing on infrastructures rehabilitation with multi-annual perspectives in a relatively short term after a conflict period. In this sense, the project philosophy is clearly a concrete example of the necessary link between emergency, rehabilitation and development.

The plan for the elimination of cholera is now drawn up and ratified. The first actions are being implemented in Katanga. The authorities in charge of this fight against the epidemics play a major part in the scientific search for the solution of the problem and play a key role in the application of the plan. While European research workers accompany them with their experience and methodology, they benefit from a network of very efficient and reactive collectors of epidemiological information, which enables them to produce an excellent tool in order to follow the real-time evolution of cholera and to establish modelled risks pattern. The epidemics are surveyed week after week in each affected zone, be it as precise as a town district or even a street in some particularly sensitive zones. And so it has been possible to anticipate the emergence of a new wave of epidemics at the end of 2007 at Lubumbashi before the very first cases could be identified. In 2008 it was also possible to warn the field actors about the risks of diffusion of epidemic sources in North Katanga, thus facilitating a speeding up and a reinforcement of the counter-attack.

This original network uniting administrative authority, scientific research and volunteer work would not be productive without the concrete actions undertaken to counter epidemics. Here again we have to emphasize the originality of this program linking the traditional actors of humanitarian and sanitary program (UNICEF, WHO, DRC medical services and all the organisations involved in access and hygiene related to water) with the professional companies for production and supply of water working either for the national Congolese firm (REGIDESO), Solidarités NGO or for Veolia Environnement. This company supports the program through the actions of its foundation and by sending out engineers of the Veoliaforce. The Congolese units of water production located in the lake district of East DRC were facing great problems. Thus, it was essential to receive both the intervention of the sanitary engineers from international humanitarian organisations and the expertise of professionals in water supply in complex urban spaces. We have to point out that these interventions are carried out in a spirit of qualified proficiency aid.

To conclude this report it is important to mention the financial aspect of the program. Basically the aim is to improve the re-distribution of the resources in order to warrant the continuum of action between the emergency, rehabilitation and development phases. It defines a comprehensive structure for donors who are not used to work in such environment to complement the classical humanitarian emergency funds. UNICEF resorted to local authorities in order to study the scientific and epidemiological relevance of the projects presented by the NGOs before funding the programs dealing with the access to safe drinking-water or the transmission of diarrhoeal diseases. Likewise, the epidemiological arguments and their suitability with the national scheme for the elimination of cholera can be both a real asset in the search for funds in the sphere of sustainable development as well

as for emergency answers. In both cases the perennial actions should be warranted by their expected fallouts on the reduction of cholera epidemics.

There is nonetheless an unsolved question regarding the funding of the scientific research linked to humanitarian actions. Donors have until now used their funding almost exclusively for implementation of the humanitarian actions rather than funding the necessary prior scientific researches, especially for epidemiological surveys. As exposed in this article, this can turn out to be a non cost-efficient approach. Only a few NGOs sometimes take part in research studies, either directly or via their specialised branches. Epicentre is a good illustration of the clinical research led for MSF (Brown et al., 2008). At the end of the day, those initiatives are too few to create a real rapprochement between research NGOs, field workers and financial backers.

In DRC, the needs for medical research are immense and numerous doctors would be ready to work together with their Northern colleagues while waiting to gather research teams in their home country. However, the lack of local financial supports is an impediment to local emulation and possible cooperation. Exactly the same problem will arise when the accumulated knowledge in DRC will have to be transferred to another country hit by cholera epidemics. Indeed, identifying the particular foci that act as the source of cholera epidemics on the whole continent and establishing a map of high risks areas is an indispensable prerequisite before implementing a program targeting cholera in Africa. Countries hit by cholera are not so numerous, even in Africa (in 2007, among the 34 African countries which have declared cases of cholera to WHO, only 17 had more than one thousand cases (WHO, 2008) and among them, DRC was one of the hardest places to implement such study, regarding the immensity of its territory, the difficulties to collect data in remote areas and the conflict in the eastern part of the country. The collection of data and the establishment of risks map is a challenge that is on the way to be successfully resolved in DRC. Doing the same for the whole of Africa should therefore be considered as a realistic objective to achieve, providing that scientific and humanitarian communities find a way of strengthening their collaborations and receive befittingly African researchers in European research teams.

Acknowledgements. We would like to acknowledge and extend our heartfelt gratitude to the following persons and entities that have made the completion of this article possible: The Public Health Ministry of the DRC, the Congolese medical teams of the Provinces of Katanga, South Kivu, North Kivu, and the Oriental and Maniema Province, to the researchers of the University of Franche-Comté (Patrick Giraudoux, Martine Piarroux, Bertrand Sudre) still involved in the cholera research. We truly thank the members of the “Cholera Team in DRC” that are working for the last 2 years in the scope of the epidemiological surveillance which encompasses anthropologic, socio-economic and environmental aspects (Annie Mutombo and Berthe Miwanda in Kinshasa; Ar-

mand Luhembwe Mutadi, Mulungu Mpemba, Tampon Kibuku in Kalemie).

Finally, our deepest thankfulness goes to: the contributors attending the 17 and 18 December 2007 in Kinshasa, the Workshop on the adoption of the Strategic Plan for the Elimination of Cholera in DRC; to Philippe Barragne-Bigot and to the DRC UNICEF for the promotion of the Plan for Cholera Elimination and their support for the publication of the “Bulletin du Projet d’Elimination du Choléra en RDC (BELICHOL).”

This study received financial support from the Veolia Foundation, the French Embassy in DRC, the “Institut de Médecine et d’Epidémiologie Appliquée”, the “Région de Franche-Comté”, and the University of Franche-Comté.

References

- Acosta, C. J., Galindo, C. M., Kimario, J., Senkoro, K., Urassa, H., Casals, C., Corachán, M., Eseko, N., Tanner, M., Mshinda, H., Lwilla, F., Vila, J., and Alonso, P. L.: Cholera outbreak in southern Tanzania: risk factors and patterns of transmission, *Emerg. Infect. Dis.*, 7(3 Suppl.), 583–587, 2001.
- Birmingham, M. E., Lee, L. A., Ndayimirije, N., Nkurikiye, S., Hersh, B. S., Wells, J. G., and Deming, M. S.: Epidemic cholera in Burundi: patterns of transmission in the Great Rift Valley Lake region, *Lancet*, 349(9057), 981–985, 1997.
- Bompangue, D., Giraudoux, P., Handschumacher, P., Piarroux, M., Sudre, B., Ekwanzala, M., Kebela, I., and Piarroux, R.: Lakes as source of cholera outbreaks, Democratic Republic of Congo, *Emerg. Infect. Dis.*, 14(5), 798–800, 2008.
- Brown, V., Guerin, P. J., Legros, D., Paquet, C., Pécou, B., and Moren, A.: Research in complex humanitarian emergencies: the Médecins Sans Frontières/Epicentre experience, *PLoS Med.*, 5(4), e89, 2008.
- Constantin de Magny, G., Guégan, J. F., and Petit, M.: Cazelles Regional-scale climate-variability synchrony of cholera epidemics in West Africa, *BMC Infect. Dis.*, 19, 7–20, 2007.
- Emch, M., Feldacker, C., Islam, M. S., and Ali, M.: Seasonality of cholera from 1974 to 2005: a review of global patterns, *Int. J. Health Geogr.*, 20, 7–31, 2008.
- Griffith, D. C., Kelly-Hope, L. A., and Miller, M. A.: Review of reported cholera outbreaks worldwide, 1995–2005, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 75(5), 973–977, 2006.
- Goma Epidemiology Group: Public health impact of Rwandan refugee crisis: what happened in Goma, Zaire, in July, 1994?, *Lancet*, 345(8946), 339–344, 1995.
- Heyman, S. N., Ginosar, Y., Shapiro, M., Kluger, Y., Marx, N., and Maayan, S.: Diarrheal epidemics among Rwandan refugees in 1994. Management and outcome in a field hospital, *J. Clin. Gastroenterol.*, 25(4), 595–601, 1997.
- Huq, A., Sack, R. B., Nizam, A., Longini, I. M., Nair, G. B., Ali, A., Morris Jr., J. G., Khan, M. N., Siddique, A. K., Yunus, M., Albert, M. J., Sack, D. A., and Colwell, R. R.: Critical factors influencing the occurrence of *Vibrio cholerae* in the environment of Bangladesh, *Appl. Environ. Microbiol.*, 71(8), 4645–4654, 2005.
- Koelle, K., Rodó, X., Pascual, M., Yunus, M., and Mostafa, G.: Refractory periods and climate forcing in cholera dynamics, *Nature*, 436(7051), 696–700, 2005.

- Mendelsohn, J. and Dawson, T.: Climate and cholera in KwaZulu-Natal, South Africa: the role of environmental factors and implications for epidemic preparedness, *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 211(1–2), 156–162, 2008.
- Olago, D., Marshall, M., Wandiga, S. O., Opondo, M., Yanda, P. Z., Kanlawe, R., Githeko, A. K., Downs, T., Opere, A., Kavumvuli, R., Kirumira, E., Ogallo, L., Mugambi, P., Apindi, E., Githui, F., Kathuri, J., Olaka, L., Sigalla, R., Nanyunja, R., Baguma, T., and Achola, P.: Climatic, socio-economic, and health factors affecting human vulnerability to cholera in the Lake Victoria basin, *East Africa, Ambio*, 36(4), 350–358, 2007.
- Roberts, L. and Toole, M. J.: Cholera deaths in Goma, *Lancet*, 346(8987), 1431, 1995.
- Sack, R. B., Siddique, A. K., Longini Jr., I. M., Nizam, A., Yunus, M., Islam, M. S., Morris Jr., J. G., Ali, A., Huq, A., Nair, G. B., Qadri, F., Faruque, S. M., Sack, D. A., and Colwell, R. R.: A 4-year study of the epidemiology of *Vibrio cholerae* in four rural areas of Bangladesh, *J. Infect. Dis.*, 187(1), 96–101, 2003.
- Shapiro, R. L., Otieno, M. R., Adcock, P. M., Phillips-Howard, P. A., Hawley, W. A., Kumar, L., Waiyaki, P., Nahlen, B. L., and Slutsker, L.: Transmission of epidemic *Vibrio cholerae* O1 in rural western Kenya associated with drinking water from Lake Victoria: an environmental reservoir for cholera?, *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 60(2), 271–276, 1999.
- Siddique, A. K., Salam, A., Islam, M. S., Akram, K., Majumdar, R. N., Zaman, K., Fronczak, N., and Laston, S.: Why treatment centres failed to prevent cholera deaths among Rwandan refugees in Goma, Zaire, *Lancet*, 345(8946), 359–361, 1995.
- WHO: Cholera, 2007, *Wkly. Epidemiol. Rec.*, 83(31), 269–283, 2008.
- WHO: Cholera, 2006, *Wkly. Epidemiol. Rec.*, 82(31), 273–284, 2007.
- WHO: Cholera, 2005, *Wkly. Epidemiol. Rec.*, 81(31), 297–307, 2006.
- WHO: Cholera, 2004, *Wkly. Epidemiol. Rec.*, 80(31), 261–268, 2005.
- WHO: Cholera, 2003, *Wkly. Epidemiol. Rec.*, 79(31), 281–288, 2004.
- WHO: Cholera, 2002, *Wkly. Epidemiol. Rec.*, 78(31), 269–276, 2003.
- Zuckerman, J. N., Rombo, L., and Fisch, A.: The true burden and risk of cholera: implications for prevention and control, *Lancet Infect. Dis.*, 7(8), 521–530, 2007.

Atelier de Dakar

Lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques en Afrique de l'Ouest et du Centre

Les participants à l'atelier régional sur la *lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques en Afrique de l'Ouest et du Centre*, réunis du 14 au 16 Mai 2008 à Dakar (Sénégal), expriment la nécessité pour les gouvernements, les partenaires et les communautés de réévaluer et de renforcer les stratégies de lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques dans la région afin de protéger les populations vulnérables vivant dans des zones à risque. Réaffirmant que le choléra et les maladies diarrhéiques restent une menace pour la santé publique et représentent l'un des indicateurs clés du développement socio-sanitaire, les participants à l'atelier recommandent ce qui suit :

- Pour être plus efficaces, les stratégies nationales de lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques – tant pour la prévention, la préparation aux urgences ou la réponse – doivent reposer sur une évaluation approfondie et sur une gestion rationnelle des facteurs de risque. Elles doivent être déclinées dans des plans multisectoriels ciblant prioritairement les zones à risques et les populations vulnérables. Ces plans multisectoriels doivent être intégrés de manière pertinente dans les plans stratégiques nationaux et régulièrement réactualisés ;
- Les plans multisectoriels doivent être conçus et mis en œuvre par tous les partenaires impliqués dans la lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques, coordonnés par des comités nationaux et relayés par des comités locaux. Ces comités, éléments clés de la coordination et de la mise en œuvre des plans de lutte, doivent rassembler des représentants du gouvernement, des collectivités, de la société civile et des communautés. Ils doivent impérativement intégrer au minimum des représentants des secteurs de la santé, de l'eau et de l'assainissement et des sciences sociales. L'existence d'un comité sous-régional de lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques permettra de privilégier une collaboration transfrontalière ;
- Afin que les plans multisectoriels de lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques ciblent mieux les zones à risque et les populations vulnérables, il est essentiel de consolider les systèmes de surveillance et d'alerte précoce, et d'analyser de manière approfondie et systématique les facteurs de risque épidémiologiques, socio-anthropologiques, environnementaux, climatiques et infrastructurels ;
- Il est nécessaire d'approfondir la recherche pour mieux comprendre l'interaction entre ces différents facteurs. Des analyses spatio-temporelles continues des séries chronologiques de choléra, couplées à des études de terrain, doivent permettre de mieux appréhender l'étiologie du choléra et de mieux cibler les plans de lutte, en cartographiant notamment les zones à risque dans chaque pays concerné ;
- Une meilleure connaissance des déterminants socio-anthropologiques permet un meilleur ciblage des stratégies de communication et une meilleure mobilisation des communautés, notamment pour promouvoir l'hygiène – en particulier le lavage des mains – la salubrité alimentaire, le traitement de l'eau à domicile et l'assainissement ;
- Le contrôle rapide des flambées de choléra et des maladies diarrhéiques repose sur: a) des campagnes de sensibilisation efficaces, b) une formation continue des techniciens sanitaires, des agents communautaires de santé, des personnels médicaux et de laboratoire, c) un pré-positionnement judicieux des stocks d'urgence dans les régions à risque, d) l'identification d'actions prioritaires, conjointement définies entre les partenaires, mises en œuvre de

manière coordonnée, et systématiquement réajustées en fonction de l'évolution de l'épidémie. Ces éléments doivent être systématiquement considérés lors du développement des stratégies de préparation aux urgences et des plans de contingences. Les résultats des études préalables à l'élaboration des plans de lutte doivent servir à renforcer les stratégies de lutte en catégorisant, par exemple, les zones en fonction du niveau de risque épidémique.

Les participants à l'atelier invitent les pays de la région à:

- Consolider leur système de surveillance et d'alerte précoce pour le choléra et les maladies diarrhéiques, notamment en associant aux données épidémiologiques des données socio-anthropologiques, environnementales et climatiques;
- Conduire des projets de recherche opérationnelle visant à élaborer une cartographie des zones à risque de choléra, identifier les populations à risque et évaluer les interventions en cours afin de préparer des plans de lutte multisectoriels et d'accompagner leur mise en œuvre;
- Développer les plans multisectoriels de lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques sur la base d'une identification fine des facteurs de risques. Ces plans, axés notamment sur la réduction des facteurs de risque, doivent être intégrés dans les plans stratégiques de réduction de la pauvreté comme un élément essentiel pour l'atteinte des objectifs du Millénaire pour le développement, ainsi que dans les plans stratégiques nationaux déjà existants;
- Renforcer les programmes d'approvisionnement en eau, d'assainissement et de promotion de l'hygiène en faveur des populations les plus vulnérables dans le but de réduire l'incidence du choléra et des maladies diarrhéiques, seconde cause de mortalité infantile parmi les maladies transmissibles;
- Renforcer la formation des techniciens sanitaires, des agents communautaires de santé, des personnels médicaux et de laboratoire à la prévention et la prise en charge du choléra et des maladies diarrhéiques afin qu'ils puissent promouvoir de bonnes pratiques de lavage des mains, d'assainissement, de traitement et de stockage de l'eau à domicile, de la salubrité des aliments, de soins des malades dans la communauté et dans les centres de santé, de l'utilisation de solutés oraux de réhydratation, et des pratiques funéraires.

Les participants à l'atelier invitent l'OMS et l'UNICEF à:

- Apporter aux pays qui en feront la demande un appui méthodologique pour développer leur plan multisectoriel de lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques, en concertation avec les autres institutions partenaires au développement;
- Établir un mécanisme régional pour un meilleur partage des bonnes pratiques et des connaissances relatives à la lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques ;
- Ajuster continuellement les approches opérationnelles et vulgariser les bonnes pratiques ainsi que les nouvelles connaissances sur l'épidémiologie du choléra et des maladies diarrhéiques en Afrique;

- Aider les pays dans leur plaidoyer pour mobiliser les agences de financement dans la mise en œuvre de leur plan de lutte multisectoriel de lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques.

Les participants à l'atelier invitent la communauté internationale à fournir aux pays de la région un appui technique et financier, coordonné et cohérent, pour élaborer et mettre en œuvre des plans multisectoriels de lutte contre le choléra et les maladies diarrhéiques.

Dans la limite de leurs moyens, l'OMS et l'UNICEF sont disposés à apporter un soutien technique actif aux pays de la région qui en formuleront officiellement la demande. S'appuyant sur les recommandations des participants à l'atelier, OCHA est disposé, dans la limite des moyens mis à sa disposition, à soutenir les efforts de plaidoyer, de mobilisation de ressources pour élaborer et mettre en œuvre de mécanismes de coordination multisectorielle.



Bulletin du Projet d'Elimination du Choléra en RDC

N° 001 Septembre 2008

Un Congo sans choléra, c'est possible !

NOTE DE LA REDACTION : POURQUOI LE BELICHOL ?

En décembre 2007, le Ministère de la Santé Publique (MSP) a élaboré *un Plan Stratégique d'Elimination du Choléra en RDC, 2008 à 2012*. Ce plan a été validé lors de l'atelier tenu du 17 au 18 décembre 2007 à Kinshasa.



Une banderole déployée lors de l'atelier de validation du Plan Stratégique d'élimination du choléra en RDC, 2008-2012.

Dix mois après la tenue de cet atelier, deux constats majeurs se dégagent :

1. Le plan stratégique d'élimination du choléra en RDC est très peu connu par de nombreux acteurs directement ou non impliqués dans la lutte contre le choléra.
2. Il y a peu d'échanges d'informations entre les différents acteurs sur les diverses activités menées en RDC dans le cadre de la lutte contre le choléra. D'où l'idée de la publication mensuelle de ce Bulletin du projet d'*élimination du choléra en RDC* en sigle : **le Belichol**.

Nos sincères remerciements à Son Excellence le Ministre de la Santé Publique, le Docteur Victor MAKWENGE KAPUT pour son implication personnelle dans la réussite de cet atelier et pour avoir engagé la RDC dans cette *stratégie d'élimination du choléra* à travers la signature de la préface du document final de l'atelier. Nos remerciements également au Secrétaire Général à la Santé Publique pour le soutien à cette initiative. Puissent l'UNICEF- RDC et l'Université de

Franche-Comté (UFC) (Besançon, France) accepter nos sincères remerciements pour l'appui technique et logistique à la publication de ce Bulletin.

LE CONTENU DU MOIS

Bref exposé du plan stratégique

Dans ce chapitre, seront exposés les fondements et les éléments essentiels du plan stratégique d'élimination du choléra

Où en sommes-nous avec la mise en œuvre ?

Pour faire connaître l'évolution des activités du plan stratégique d'élimination du choléra.

La situation épidémiologique du choléra en RDC

Cette rubrique permettra de rappeler les zones déjà touchées depuis le début de l'année et aussi les zones avec des épidémies en cours à la semaine 39, 2008 (fin septembre).

Qui fait quoi? où ?

En fonction des informations en notre possession, nous rapporterons les activités menées par les acteurs de terrain dans le cadre de la lutte contre les maladies hydriques en général et le choléra en particulier.

Les divers : C'est une rubrique dans laquelle nous rapporterons des informations générales en rapport avec le choléra en RDC, en Afrique et ailleurs dans le monde.

I- Bref exposé du plan stratégique : *les 7 zones sanctuaires du choléra en RDC (cibles prioritaires du projet)*.

Dans la même rubrique, nous présenterons, le mois prochain, les objectifs du plan stratégique d'élimination du choléra en RDC.

L'idée et l'espoir d'une possible élimination du choléra en RDC repose sur les résultats d'un travail de recherche sur la dynamique des épidémies de choléra en RDC (collaboration Direction de Lutte contre la Maladie (DLM), Université de Franche-Comté (UFC) et Université de Kinshasa). Ce travail a permis d'élaborer une cartographie des zones à risque du choléra et d'identifier 7 zones considérées comme sanctuaires du choléra à l'est de la RDC.

Ces 7 zones sanctuaires du choléra à l'est de la RDC sont : Bunia (Province Orientale), Goma (Nord Kivu), Bukavu et Uvira (Sud Kivu), Kalemie, Kasenga et Bukama (Katanga).

II- Où en sommes-nous avec la mise en œuvre ?

Depuis décembre 2007, un premier noyau s'est constitué comme une ébauche d'une plateforme d'acteurs devant travailler ensemble pour la mise en œuvre de ce plan (Direction de Lutte contre la Maladie du MSP, la Fondation Veolia Environnement et l'Unité Mixte de Recherche Chrono-Environnement, Centre National de Recherche Scientifique (CNRS) - 6249 (UFC)).

Parmi les objectifs de cet ensemble d'acteurs, il y a la recherche des voies et moyens pour la mise en œuvre des résolutions du plan stratégique d'élimination du choléra en RDC, le lobbying pour l'élargissement du noyau initial de cette plateforme à d'autres acteurs pouvant œuvrer pour la réussite de ce projet et la recherche des pistes de financement, et enfin la recherche d'acteurs opérationnels expérimentés susceptibles de couvrir les zones cibles du projet. Jusqu'à ce jour, tout ce qui a pu être fait l'a été principalement grâce à ce noyau initial.

III- Situation épidémiologique du choléra en RDC

Situation depuis le début de l'année 2008

De janvier à septembre, 19347 cas et 378 décès de choléra ont été rapportés en RDC soit une létalité de 1,95%.

Tableau 1 : Cas et décès de choléra par province en RDC de janvier à fin septembre 2008.

Province	Cas	Décès	Zones de santé les plus touchées
Katanga	9354	246	Likasi, Lubumbashi, Kalemie, Bukama, Kasenga, Pweto
Nord Kivu	4534	60	Rutshuru, Goma
Sud Kivu	4258	13	Minova, Fizi, Uvira
Province Orientale	1201	59	Tchomia, Rethy (<i>région du lac Albert</i>)

Le point au mois de septembre 2008

Malgré le faible rapportage dû en partie à la grève des infirmiers et du personnel administratif de la santé, les données disponibles ont permis d'identifier des flambées épidémiques de choléra actuellement en cours dans 10 zones de santé (voir le tableau2).

La poussée du choléra dans les grandes villes minières du Sud Katanga semble enfin être maîtrisée malgré la persistance de quelques cas résiduels de choléra autour de Likasi. De plus, les zones lacustres situées au nord de Bukama ont connu une saison sèche sans épidémie de choléra. Enfin, la situation dans la ville de Kalemie, souvent épidémique à cette période de l'année, est relativement calme. Il est possible que les efforts consentis ces derniers temps pour améliorer l'accès à l'eau potable dans certains quartiers commencent à porter leurs fruits.

Globalement, l'analyse des données épidémiologiques de choléra en RDC au mois de septembre montre :

Sud Kivu :

L'épidémie de choléra actuellement en cours dans la zone de santé de Minova est aggravée par l'afflux de population en provenance des localités autour de Bweremana (zone de santé de Kirotshe) avec le conflit armé au Nord Kivu.

Province Orientale

Zone de santé de Linga (proche de Rethy), à la semaine 37 : 28 cas et 5 décès puis plus rien. Ce silence à partir de la semaine 38, semble plutôt traduire un manque de données qu'une fin brusque de cette épidémie.

Katanga :

- La zone de santé de Pweto autour du lac Moero est toujours en pleine épidémie. Le risque existe donc de voir le choléra réapparaître à l'Est, vers Moba, ou

au Sud vers Kasenga et, dans un deuxième temps, Lubumbashi. Ce phénomène de diffusion à partir d'un foyer non contrôlé autour du lac Moero avait été responsable de la flambée qui avait touché Lubumbashi à la fin de l'année dernière.

- La Zone de santé de Kabondo-dianda, voisine de Bukama (région du lac Upemba) a signalé 10 cas en deux semaines (S38 et S39), puis 0 cas à la semaine 40. Cette situation (qui mérite d'être vérifiée), si elle est confirmée, représente un risque d'extension du choléra dans la région des lacs centraux du Katanga. Bukama étant reliée par train et par route aux principales villes du Katanga et du Kasai Oriental, il serait important d'accroître maintenant les interventions dans la zone de santé de Kabondo-dianda pour éviter l'extension dans la zone voisine.

Tableau 2 : Zones de santé avec épidémies en cours, septembre 2008.

N°	Province	Zone de santé	Total cas S1-S40,2008	cas_S38	cas_S39	cas_S40
1	Nord Kivu	Rutshuru	214	97	85	ND
2	Nord Kivu	Lubero	37	18	12	ND
3	Nord Kivu	Masisi*	16	4	0	ND
4	Sud Kivu	Katana*	231	4	0	8
5	Sud Kivu	Nundu	151	36	14	16
6	Sud Kivu	Fizi	1079	35	34	95
7	Sud Kivu	Minova	1305	32	21	61
8	Sud Kivu	Uvira	1186	31	30	32
9	Sud Kivu	Miti-Murhesa*	53	0	3	6
10	Katanga	Pweto	221	12	0	9
11	Katanga	Kabalo	127	9	29	32
12	Katanga	Nyemba	578	7	19	9
13	Katanga	Kongolo	158	5	39	114
14	Katanga	Kalemie*	525	5	0	7
15	P. Orientale	Jiba*	64	0	0	2

* : Situation non épidémique, mais à surveiller compte tenu de la particularité de ces zones de santé
 ND : Non Disponible au moment de la rédaction du Bulletin.

Conclusion et Commentaire

Tant dans les deux Kivu qu'au Katanga, les zones de santé actuellement en pleine épidémie de choléra sont toutes situées à proximité de lacs ou de fleuve. Actuellement les foyers nécessitant une intervention d'urgence, efficace et coordonnée sont:

- **Minova** au Sud Kivu (risque d'extension vers Katana et Bukavu),
- **Uvira** et **Fizi** au sud du Sud Kivu (risque d'extension à Bukavu et Kalemie)

- Les zones de santé de **Kongolo** et **Kabalo** (sur les rives du fleuve Congo) représentent le principal point noir actuellement au Katanga. Il y a un risque majeur de voir le choléra diffuser au Sud vers les zones lacustres du centre du Katanga. Une fois là, il sera particulièrement difficile à combattre. C'est l'urgence pour le mois d'octobre.

Nord Kivu : Les données de la semaine 40 (29 sept-5 octobre) n'ont pas été obtenues au moment de la rédaction de ce bulletin. L'épidémie en cours à Rutshuru mérite d'être suivie.

Sur le reste du pays, les 7 autres provinces (Maniema, Kasai oriental, Kasai occidental, Bandundu, Bas-Congo, Kinshasa, Equateur) n'ont rapporté aucun cas de choléra (confirmé).

- **Kongolo** et **Kabalo** au nord du Katanga (risque d'extension vers les zones Malemba-Nkulu, Kinkondja, Kadondo-dianda, Butumba et Bukama autour du lac Upemba).

Dans ces zones de santé, il n'y a pas (ou pas assez) d'intrants (Ringer et soluté de réhydratation orale) actuellement disponibles pour permettre une prise en charge correcte des cas. Cette situation pourrait expliquer les 7 décès (sur 114 cas) rapportés à Kongolo à la semaine 40. Comme pour Kalemie (où des actions sont en cours), on ne peut espérer une élimination du

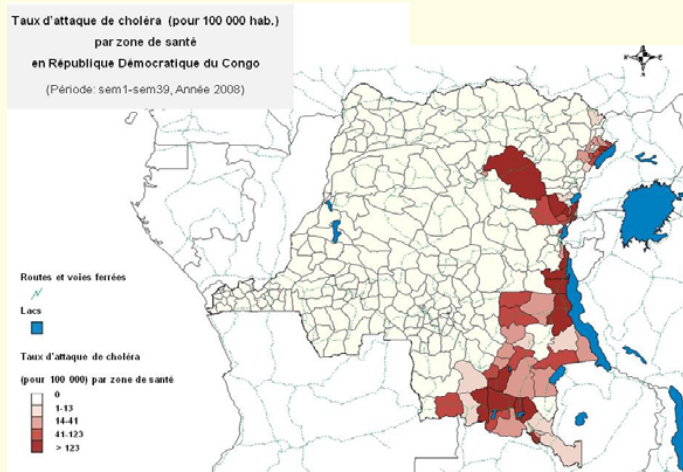


Figure I : Taux d'attaque de choléra par zone de santé (p. 100 000 hab.) de S1 à S39, 2008

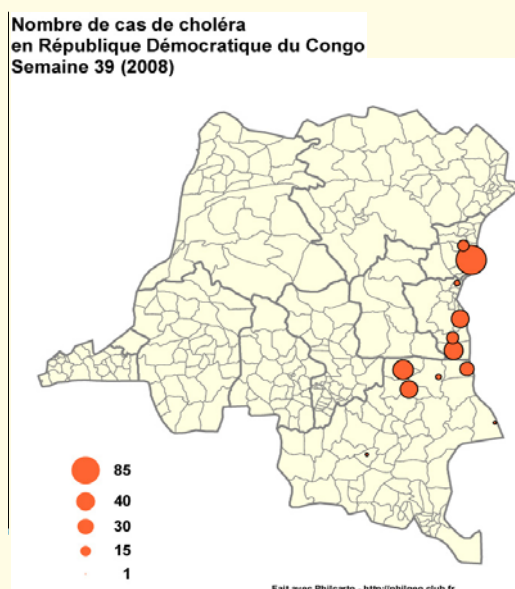


Figure II : Carte des zones de santé avec cas de choléra notifié/ en pleine épidémie à la semaine 39 (22 au 28 septembre) 2008, RDC.

choléra dans ces zones que si des progrès substantiels sont réalisés dans la fourniture en eau potable des quartiers les plus atteints associée à des programmes de prévention visant particulièrement les pêcheurs et les commerçants.

IV- Qui fait quoi? où ?

Avec l'appui des partenaires, les activités de lutte contre le choléra sont en principe et généralement menées à tous les niveaux du système de santé : la Direction de Lutte contre la Maladie, les Inspections Provinciales et des Districts de Katanga, Nord et Sud-Kivu et la Province Orientale. Cependant, pour savoir dans les détails (ou presque) le type d'activités menées par chacun et les lieux d'exécution de ces activités, nous essayerons en fonction des informations disponibles de faire connaître ce qui se fait sur terrain.

V- Les divers

- La grève du personnel infirmier affecte les CTC à l'Est de la RDC
- L'interruption d'électricité et d'eau courante à Kalemie fait craindre une flambée de choléra dans cette cité. C'est le scénario souvent observé.

Ce Bulletin ne s'améliorera qu'avec vos remarques et contributions. Merci de nous les faire parvenir.

Plan Stratégique d'Élimination du Choléra en République Démocratique du Congo, 2008-2012

Cellule de Coordination et de Suivi des Activités du Plan Stratégique d'Élimination du Choléra en RDC

Direction de Lutte Contre la Maladie (4ème Direction), Ministère de la Santé Publique, RDC

39, Avenue de la Justice, Kinshasa-Gombe.

Contacts

Dr Vital Mondonge, Directeur de la Direction de Lutte Contre la Maladie, Directeur de Publication

Tel : 00243 9 99 97 26 93 ; Courriel : mondongemakuma@yahoo.fr

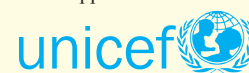
Mme Annie MUTOMBO TINDA, secrétaire de rédaction et responsable de la diffusion

Tel : 00243 9 98 18 99 02 ; Courriel : anniemutombo@yahoo.fr

Dr Didier BOMPANGUE NKOKO, Directeur de Publication Adjoint et Rédacteur en chef

Tel : 0033 6 84 36 47 55 (France) ; 00243 81 452 70 47 (RDC) ; Courriel : joellebop@yahoo.fr

Avec l'appui de :



PERMIS D'IMPRIMER

THESE POUR OBTENIR LE DIPLOME DE DOCTORAT

DE L'UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

EN SCIENCES DE LA VIE ET DE LA SANTE

N° 25.09.09

Présentée par ~~Madame~~, Monsieur, **BOMPANGUE NKOKO**

Né(e) le **03 Janvier 1971**

et ayant pour titre : **DYNAMIQUE DES EPIDEMIES DE CHOLERA DANS
LA REGION DES GRANDS LACS AFRICAINS
CAS DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO**

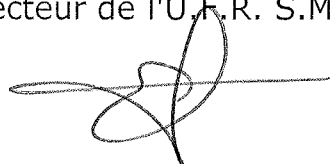
Vu et permis d'imprimer,

Besançon, le **10/12/2009**

Le Directeur de Thèse,



Le Directeur de l'U.F.R. S.M.P.



Le Professeur E. SAMAIN



NOM : BOMPANGUE NKOKO, **Prénom :** Didier

THESE soutenue le : 23/10/2009

TITRE DE LA THESE : DYNAMIQUE DES EPIDEMIES DE CHOLERA DANS LA REGION DES GRANDS LACS AFRICAINS : CAS DE LA REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

RESUME

Le choléra est une maladie diarrhéique contagieuse strictement humaine, causée par *Vibrio cholerae*, un bacille gram négatif. La maladie se traduit par une diarrhée acqueuse profuse parfois accompagnée de vomissements survenant quelques heures à quelques jours après l'ingestion d'eau ou d'aliments souillés par *V. cholerae*.

Dans l'environnement, *V. cholerae* est retrouvé dans les eaux saumâtres des zones d'estuaire où il colonise la surface de certaines algues et de copépodes, pouvant ainsi persister en l'absence de l'homme pendant des périodes de temps prolongées. C'est le cas dans les zones estuariennes d'Asie du Sud-Est telle que la région du golfe du Bengale, où la maladie est connue depuis la plus haute antiquité.

Après avoir été relativement épargnée par les six premières pandémies, l'Afrique continentale a été frappée par la 7^{ème} pandémie en 1970. Depuis cette date, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), plus de 90 % des cas de choléra sont rapportés par l'Afrique sub-saharienne. La République Démocratique du Congo (RDC) fait partie des pays les plus touchés.

En RDC, de 2000 à 2008, 208 875 cas et 7 335 décès (létalité de 3,51%) dus au choléra ont été notifiés à l'OMS, soit 15% des cas et 20% des décès rapportés dans le monde pour la même période. Ces cas de choléra touchent essentiellement les provinces de l'est de la RDC, situées dans la région des grands lacs. Après plus de trente ans de lutte contre le choléra en RDC, une étude épidémiologique de la dynamique du choléra a été initiée dans ce pays dans le but de comprendre les facteurs de récurrence épidémique et de proposer des ajustements sur les approches opérationnelles. Les principaux résultats de ce travail de recherche ont permis de mettre en évidence qu'à peine 10% des zones de santé, toutes situées à proximité des lacs de l'est de la RDC, jouent le rôle de zones sanctuaires pour le choléra.

Ces résultats ont également permis de mettre en évidence la saisonnalité du choléra, avec moins de cas en saison sèche, et le rôle spécifique des populations de pêcheurs, de commerçants et de mineurs artisanaux dans l'émergence et la diffusion des épidémies de choléra. Il a également été démontré que le choléra n'est pas endémique dans toutes les régions de l'est de la RDC. Le fonctionnement du choléra dans cette région d'Afrique est globalement instable avec des flambées épidémiques suivies de phases d'extinction relativement prolongées, les flambées épidémiques se produisant selon un mode métastable lorsqu'on considère l'Est de la RDC dans son ensemble. Cependant, il a aussi été montré que certains foyers fonctionnant jusque là sur un mode métastable sont, depuis quelques années, passés à un fonctionnement endémique. C'est le cas des foyers de Kalemie et de Goma.

Sur la base de ces résultats, il a été recommandé la mise en place d'un projet de lutte contre le choléra avec pour objectif d'éliminer cette maladie de l'ensemble de la RDC. Ce plan vise à concentrer les efforts de lutte sur les sept foyers sanctuaires identifiés en privilégiant les apports en eau potable parmi l'éventail des moyens de lutte existant. Lorsque les premières actions ont été mises en oeuvre sur le site pilote de Kalemie, nous avons constaté une diminution importante de l'incidence du choléra, tandis que les examens microbiologiques ont confirmé que les quelques cas de diarrhée encore rapportés à Kalemie n'étaient plus dus à *V. cholerae* mais à d'autres bactéries.

L'épidémiologie du choléra telle que nous l'observons dans la région des Grands Lacs africains est différente de celle décrite en zone estuarienne d'Asie du Sud-Est. Même si plusieurs questionnements subsistent concernant les modes de persistance du choléra dans les zones lacustres ou la pérennité du *V. cholerae* dans les eaux des lacs, les résultats de ce travail sont porteurs d'un nouvel espoir pour la relance de la lutte contre cette maladie négligée.

MOTS CLES : choléra, lacs, sanctuaires, RDC, Grands Lacs, épidémies, élimination, séries temporelles